Fakultät Maschinenbau -Mechatronik

DIPLOMARBEIT

Neuentwicklung Folienverlegemaschine

Autor:
Herr Ing. Klaus Weinhardt

Studiengang:
Maschinenbau / **Mechatronik**

Seminargruppe:
KM09sFA

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Römer

Zweitprüfer:
Dr. Dipl.-Ing. Harald Krenn

Einreichung:
Mittweida, 16.07.2012

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2012

Bibliografische Beschreibung:

Weinhardt, Klaus:

Neuentwicklung Folienverlegemaschine – Die Folienverlegemaschine ist eine Sondermaschine. Die Maschine wird für den Abdichtungsprozess in einem Wasserstollen angewendet und ist aufgrund abgeänderter Spezifikationen den veränderten Gegebenheiten anzupassen und zu vervollständigen. – 2012, 97 S.

Niagara Falls/Kanada, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau/Mechatronik,

Diplomarbeit, 2012.

Referat:

Im Sondermaschinebau werden Maschinen für besondere Anwendungen entwickelt und hergestellt. Durch die speziellen Anwendungen und Einsatzorte von solchen Maschine, stellt sich jeder Maschinenbauer/Mechatroniker der besonderen Herausforderung etwas Einzigartiges und zum größten Teil einmaliges herzustellen. Gerade aber in dieser Sparte des Maschinebaus/Mechatronik ist der Hersteller oft ständig mit Änderungen in den Anwenderspezifikationen konfrontiert. Die Arbeit befasst sich mit einer Sondermaschine, welche großen Änderungen in den Spezifikationen unterworfen war. Dies erforderte eine Neukonzeptionierung und Neuentwicklung der Funktionsabläufen und Betriebsmitteln an der Maschine. Weiteres wird mit dieser Arbeit beschrieben, dass Vereinfachungen oft häufig einen Mehrwert darstellen. Auch wird darauf eingegangen, dass bei der Herstellung und Entwicklung einer solchen Maschine durch die ausführliche Arbeitsvorbereitung, vorläufige Festlegung der Spezifikationen und einer intensiven Auseinandersetzung mit dem zu verarbeitenden Materialien die Effizienz wesentlich bei der Entwicklung gesteigert wird.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis ..... **IV**

Tabellenverzeichnis ..... **VII**

Formelverzeichnis ..... **VIII**

Abkürzungsverzeichnis ..... **X**

1 Einleitung **1**

1.1 Struktur und Zielsetzung der Arbeit *2*

1.2 Niagara Tunnel Projekt *3*

1.2.1 Projektbeschreibung NTFP 3

1.2.2 Herstellungsprozesse NTFP 4

1.2.3 Auswirkung Änderung Anwenderspezifikationen am NTFP 8

1.3 Beschreibung der Folienverlegemaschine *10*

1.3.1 Grundaufbau 14

1.3.2 Funktionsablauf 20

2 Allgemeines im Sondermaschinenbau **21**

2.1 Richtlinien im Sondermaschinenbau *22*

2.1.1 Maschinenrichtlinien 22

2.1.2 Richtlinien außerhalb des EU-Raumes 24

2.2 Mechatronik im Sondermaschinenbau *24*

3 Theoretischer Teil – Neuentwicklung FVM **25**

3.1 Inspektion der vorhanden Maschine *26*

3.2 Einfluss der Umweltbedingungen *27*

3.3 Festlegen der Anwenderspezifikationen *30*

3.4 Planen der Neuentwicklungen *31*

3.4.1 Erstellen eines Arbeitsplanes 31

3.4.2 Arbeitsplan mit Mitarbeitern belegen 31

3.4.3 Arbeitsplan mit Zeitlich begrenzen 31

3.4.4 Ablauforganisation 32

3.5 Anpassung der mechanische Bauteile *33*

3.5.1 Anpassung der Anpressräder 33

3.5.2 Anpassung der mechanischen Getriebeeinheiten 33

3.5.3 Anpassen der Bremsleistung 34
3.6 Anpassung der pneumatischen Komponenten 35
3.7 Anpassung der hydraulischen Komponenten 37
3.7.1 Hydrostatische Pumpen 37
3.7.2 Hydraulische Motoren 38
3.7.3 Hydraulische Kühlung 39
3.7.4 Hydrostatische Getriebe 39
3.8 Anpassung der elektrischen Komponenten 42
3.9 Anpassung und Steuerung der Komponenten mit Hilfe von elektronischen Messmitteln 45
3.9.1 Integrierte Messmittel 45
3.9.2 Verwendung von externen Messgeräten 51
3.10 Automatisierung der FVM 52
3.10.1 Einsatz der Speicherprogrammierbare Steuerung an der FVM 53
4 Praktischer Teil Neuentwicklung FVM 57
4.1 Inspektion der Maschine 57
4.1.1 Allgemeiner Zustand 57
4.1.2 Mechanischer Zustand 58
4.1.3 Pneumatische Komponenten 59
4.1.4 Hydraulikanlage 59
4.1.5 Elektrik 60
4.1.6 Bedienung, Steuerung und Regelung 60
4.1.7 Folgerung aus der Inspektion 62
4.2 Umweltbedingung erforschen 62
4.2.1 Temperatur und Feuchtigkeit im Schaltschrank 62
4.2.2 Temperatur und Feuchtigkeit im Tunnel 63
4.2.3 Verschmutzung 63
4.3 Anwenderspezifikationen 64
4.4 Planung der Neuentwicklung 65
4.5 Mechanische Bauteile und Funktionen 66
4.5.1 Anpressräder und Rüttler 66
4.5.2 Erhöhen des Sicherheitsfaktors der Bremsen am Grundwagen 72
4.5.3 Getriebesicherheit erhöhen 73
4.6 Hydraulische und elektrische Einstellungen 73
4.6.1 Hydraulikaggregate 73
4.6.2 Bremsentlüftung Seitenerektor und Grundwagen 77
4.6.3 Folienabrollung 78
4.7 Anpassen der Messsysteme 79

4.7.1 Gleichlaufsteuerung 79
4.7.2 Messsystem Abstandsmessung zur Tunnelwand 82

4.8 Programmierung 86
4.8.1 Erstellung eines Programmablaufschemas 87
4.8.2 Hardware- und Netzwerkkonfiguration 88
4.8.3 Auszug des Datenbausteins 201 für die Erfassung von Analogwerten 89
4.8.4 Beispiel für die Verwendung von parametrierbaren Variablen 90
4.8.5 Analogwerte aufzeichnen 91
4.8.6 Besonderheiten bei der Programmierung der FVM 92
4.8.7 Bedienung der Maschine 92

4.9 Einrichten der Fernwartung 93

5 Schlussfolgerungen 95

5.1 Kritik an der Maschine 95
5.1.1 Bedienung 95
5.1.2 Elektronische Komponenten 95
5.1.3 Antriebs Komponenten 96
5.1.4 Verlegeeigenschaft 96

5.2 Langzeitbeobachtungen 97
5.2.1 Elektrik und Elektronik 97
5.2.2 Mechanische Bauteile 97

Literaturverzeichnis 99

Anlagen… 101

Anlagen, Teil 1 103

Anlagen, Teil 2 107

Anlagen, Teil 3 111

Anlagen, Teil 4 113

Selbstständigkeitserklärung 117

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Folienverlegemaschine vom NTFP 1

Abbildung 2: Blocknummern auf den Tunnel verteilt 5

Abbildung 3: Ansicht der Brücke für die Bearbeitung der Sohle 5

Abbildung 4: Folienverlegung 6

Abbildung 5: Ausbruch nach der TBM 8

Abbildung 6: FVM im Straßenbau Abbildung 7: FVM im Agrarbau 10

Abbildung 8: Aufbau der Membrane (1, 2009) 12

Abbildung 9: Klett 12

Abbildung 10: Darstellung Toleranzen im Gewölbe 13

Abbildung 11: Abdichtungszug 14

Abbildung 12: Übersicht FVM mit Logistik 15

Abbildung 13: Grundaufbau FVM Bild 1 16

Abbildung 14: Temperatur und Luftfeuchtigkeit elektrische Betriebsmittel 28

Abbildung 15: Stabliniensystem (Goldhahn, 2010) 32

Abbildung 16: Backenbremse FVM (BAYSTAG, 2010) 34

Abbildung 17: Theoretisches Schwingungssystem Rad 35

Abbildung 18: Pumpensteuerung (Bauer, 2009)Seite 213 41

Abbildung 19: Arbeitsbereiche Betrieb Asynchronmotor 42

Abbildung 20: Schutzmechanismus und Auslösekennlinie Schutzschalter 44

Abbildung 21: Anlaufverhalten Asynchronmotor (Weidauer, 2011) Seite 81 44

Abbildung 22: Einfache Drossel Induktivsensor 47

Abbildung 23: Ausgangssignal des magnetischen Feldes (NXP, 2009) 48

Abbildung 24: magnetischer Sensor (Ineltek, 2012) 48

Abbildung 25: Temperatur und Luftfeuchtigkeit Schaltschrank 63

Abbildung 26: Ordnerstruktur für Projektdaten 65

Abbildung 27: Anpressräder mit hartem Gummi 66

Abbildung 28: neue Radaufnahme 67

Abbildung 29: neue Anpressräder 67

Abbildung 30: Messgeräte Vibrationsmessung 68

Abbildung 31: Sensoren für Vibrationsmessung 69

Abbildung 32: Vibrationsmessung 1 69

Abbildung 33: Messgraph für G-Messung am Rüttler 70

Abbildung 34: Beschleunigungssensor am Reifen 70

Abbildung 35: Vibrationsmessung am Reifen 71

Abbildung 36: Stahlbremsbacken 72

Abbildung 37: Bremsbacken mit Beschichtung 72

Abbildung 38: Schaden an Hydraulikmotor 73

Abbildung 39: Motorschutzüberhitzung und Elektromotorschaden 74

Abbildung 40: Messaufbau Hydraulik 75

Abbildung 41: Bremsschaltung Seitenerektor 77

Abbildung 42: Folienabrollmotor mit "Mooring"-Prinzip 78

Abbildung 43: Gleichlaufsteuerung (Weinhardt, 2010) Seite 54/706 79

Abbildung 44: Proportionalventilverstärkermodul 80

Abbildung 45: Auszug Hydraulikschema FVM Fahrantrieb Haupterektor 80

Abbildung 46: Softwareeinstellung am Auswertmodul 82

Abbildung 47: Federvorgespanntes Platten Messsystem 83

Abbildung 48: Abstandsmessung mittels Induktivsensoren 83

Abbildung 49: Anpressräder Unebenheiten im Gewölbe 85

Abbildung 50: Verlegbalken 85

Abbildung 51: Hardware- und Netzwerkkonfiguration 88

Abbildung 52: Auszug aus DB 201 und FC26 89

Abbildung 53: parametrierte Variable für die Abstandsmessung der Winkelzylinder „Hinten“ 90

Abbildung 54: parametrierte Variable für die Abstandsmessung der Winkelzylinder „Vorne“ 90

Abbildung 55: Analogwerte Aufzeichnen Bsp. Anhand DB61 und FB61 91

Abbildung 56:Fernwartung 93

Abbildung 57: Axialkolbenpumpe 104

Abbildung 58: Erwärmungs- und Abkühlungsverlauf einer hydr. Anlage 106

Abbildung 59: Bestandteile Asynchronmotors mit Kurzschlussläufer 107

Abbildung 60: Betriebsverhalten Asynchronmotor im Zeigerdiagramm 108

Abbildung 61: Sanftanlasser 108

Abbildung 62: Strom- und Drehzahl des Asynchronmotors bei Sanftanlauf 109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingesetzte Folienverlegemaschine..... 11

Tabelle 2: technische Daten FVM 1..... 16

Tabelle 3: technische Daten FVM Grundwagen 17

Tabelle 4: technische Daten Haupterektor..... 18

Tabelle 5: technische Daten Seitenerektor 19

Tabelle 6: benötigte Ölmenge FVM 76

Tabelle 7: Wärmedurchgangszahlen bei Ölbehältern (Bauer, 2009)Seite 71..... 106

Formelverzeichnis

Formel 1: Bewegungsgleichung für das Beispiel in Abb. 24 35

Formel 2: Zentrifugalkraft $\boldsymbol{FZ}$ 35

Formel 3: Winkelgeschwindigkeit $\boldsymbol{\omega}$ 36

Formel 4: Zentrifugalbeschleunigung $\boldsymbol{aZ}$ 36

Formel 5: Gravitationskräfte am System $\boldsymbol{gsystem}$ 36

Formel 6: Berechnung der Luftmassenstrom $\boldsymbol{m}$ (Berties, 2007) Seite 106 36

Formel 7: Strömungsgeschwindigkeit $\boldsymbol{v}$ 36

Formel 8: Raumänderungsarbeit $\boldsymbol{Wi,istr}$ (Berties, 2007)Seite 102 36

Formel 9: Leistung Luftkompressor $\boldsymbol{Pi,istr}$ (Berties, 2007) Seite 103 36

Formel 10: Volumen Außenzahnradpumpe $\boldsymbol{V0}$ 37

Formel 11: Verdrängungsvolumen Außenzahnradpumpe $\boldsymbol{VG}$ 37

Formel 12: Drehmoment Pumpen $\boldsymbol{M}$ 38

Formel 13: Berechnung zugeführte Motorleistung $\boldsymbol{Pzu}$ 38

Formel 14: Fördermenge Pumpen $\boldsymbol{Q}$ 38

Formel 15: effektiv abgeführtes Drehmoment $\boldsymbol{Mabgef}$ (Bauer, 2009) Seite 119 39

Formel 16: mechanisch hydraulischer Wirkungsgrad $\eta\boldsymbol{mh}$ (Bauer, 2009) Seite 119 39

Formel 17: Effektiver Schluckstrom $\boldsymbol{Qe}$ (Bauer, 2009) Seite 120 39

Formel 18: Abgegebenes Drehmoment $\boldsymbol{Mab}$ (Bauer, 2009) Seite 120 39

Formel 19: zugeführte Leistung $\boldsymbol{Pzu}$ (Bauer, 2009) Seite 120 39

Formel 20: Gleichsetzung der Ölströme Pumpen zu Motoren $\boldsymbol{Qe}$ (Bauer, 2009) Seite 203 40

Formel 21: Drezahlübersetzung $\boldsymbol{n2n1}$ (Bauer, 2009) Seite 203 40

Formel 22: Drehmomentenübersetzung hydr. Getriebe $\boldsymbol{M2M1}$ (Bauer, 2009) Seite 20340

Formel 23: Wirkleistung Asynchronmotor 42

Formel 24: Wellengesetz 46

Formel 25: Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Temperatur 46

Formel 26: Wellenwiderstand 46

Formel 27: Reflexionsfaktor 46

Formel 28: Luftspalt Kern Induktivsensor 47

Formel 29: Verfahrweg Motor = Sensor pro Umdrehung 49

Formel 30: Inkremente pro mm 49

Formel 31: Verlustleistung 105

Formel 32: Gesamtwirkungsgrad hydr. Anlage 105

Formel 33: Wärmestrom 105

Formel 34: Wärmemenge 105

Formel 35: Differentialgleichung Temperaturänderungen im hydr. System 106

Formel 36: Wärmeabgabe Ölbehälter 106

Formel 37: Kühlleistung Ölkühler 106

Formel 38: Synchrondrehzahl 107

Formel 39: Schlupf Asynchronmotor (Weidauer, 2011) Seite 73 108

Abkürzungsverzeichnis

Generell

NTFP	Niagara Tunnel Facility Project
OPG	Ontario Power Generation
STRABAG	Straßen Bau Aktiengesellschaft
usw.	und so weiter
z.B.:	zum Beispiel
Abb.	Abbildung
Pos.	Position
Hydr.	Hydraulik
Hpt.	Haupt
FVM	Folienverlegemaschine
TBM	Tunnelbohrmaschine
bzw.	Beziehungsweise
PC	Personal Computer
W-Lan	Wireless Local Area Network

1 Einleitung

Das derzeit im Bau befindliche Niagara Tunnel Facility Projekt „NTFP“ in der Provinz Ontario in Kanada ist eine Erweiterung des im 20. Jahrhundert erbauten Sir Adam Beck Wasserkraftwerkes. Das Projekt umfasst den Bau eines Umleitungsstollens, der das bestehende Wasserkraftwerk, mit zusätzlichen 500 m³ Wasser pro Sekunde speisen soll. Der Druckstollen weist einen Aussendurchmesser von 14,4 m und eine Länge von 10,2 km auf. Der Innenausbau besteht aus einer unbewehrten Betonschale mit einer min. Stärke von 600 mm (Wannenmacher H., 2012).

Auf Grund der ausserordentlichen Grösse des Bauwerks geplanten Bauablaufes mussten Sondermaschinen, mit speziellen Anwenderspezifikationen entwickelt werden.

Wegen der geologischen Gegebenheiten wird technisch gefordert, dass der Stollen nachhaltig abgedichtet wird, um eine Migration des Stollenwassers in das umliegende zum Quellen neigende Gebirge zu vermeiden. Für die Applikation der wasserdichten Folie ist eine eigene Folienverlegemaschine (siehe Punkt 1.3) zu entwickeln.

Gerade im Tunnelbau kommt es oft zu unerwarteten Herausforderungen, da sich die zuvor liegenden Gesteinsschichten oft eher weniger gut bestimmen lassen. In Bezug auf das „*NTFP“* hat sich, wie so oft nach dem Baubeginn herausgestellt, dass das vorhandene Gestein brüchiger ist wie von dem Geologen vermutet wurde. Dies hat zur Folge, dass sämtliche sondergefertigte Maschinen und Prozesse sich neuen Anwenderspezifikationen stellen müssen.

Auch die benötigte Folienverlegemaschine ist aufgrund der geänderten Spezifikationen von ihrer Grundkonzeption bis zur Steuerung neu zu entwickeln.

Abbildung 1: Folienverlegemaschine vom NTFP

1.1 Struktur und Zielsetzung der Arbeit

Die Arbeit strukturiert sich wie folgt:

- Einleitung (Vorstellung des Projekts „NTFP“, generelle Beschreibung der „Folienverlegemaschine – FVM“ nach der Neuentwicklung, Erläuterung der Bedeutung des Sondermaschinenbaus in Bezug auf die Folienverlegmaschine. Der Einleitende Teil ist ausführlich beschrieben, da der gesamte Prozess ohne die FVM nicht in dieser Art durchgeführt werden kann)
- theoretischer Teil (theoretische Ausarbeitung der anzupassenden bzw. neu zu entwickelnden Betriebsmittel)
- praktischer Teil (Umlegung der theoretischen Ausarbeitung in die Praxis)
- Schlussfolgerung, kritische Betrachtung der Maschine und Lerneffekt aus der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin,

- die erforderlichen Schritte und Modifikationen welche im Zuge der Neuentwicklung notwendig sind thorethisch und praktisch wiederzugeben
- die verwendeten Betriebsmittel und Technologien werden beschrieben
- darzustellen wie Prozesse vereinfacht werden können
- den Projektverlauf der Neuentwicklung wiederzugeben
- aufzuzeigen, welche Auswirkung Änderungen, fehlende Informationen in der Anwenderspezifikation und Projektdokumentation haben
- das Resultat der neu zu entwickelten oder angepassten Betriebsmittel zu erläutern

HINWEIS

Die beschriebenen Punkte behandeln, die durch die Neuentwicklung durchgeführten Änderungen an der FVM.

Nach der umfangreichen Inspektion und der Abstimmung des gewünschten Endergebnisses geht hervor welche Betriebsmittel neu konstruiert, neu programmiert oder umgebaut werden müssen.

Die Maschine wurde in Deutschland vormontiert und es fand eine Werksabnahme statt. Schlussendlich wurde die Maschine vollständig in Kanada in Betrieb genommen. Die Modifikationen, welche im Zuge der Neuentwicklung notwendig waren sind so ausgelegt, dass die Maschine den zur Zeit der Inbetriebnahme gültigen Maschinenrichtlinien und Niederspannungsrichtlinien entspricht.

1.2 Niagara Tunnel Projekt

Durch die stetige erhöhte Nachfrage an elektrischer Energie ist es notwendig, die vorhandenen Ressourcen effektiver zu nützen.

Eines der weltweit größten Projekte zur Nutzung der Wasserkraft für die emissionsfreie Gewinnung elektrischer Energie ist derzeit an den Niagara Fällen in Ontario, Kanada, in Bau.

Das Sir Adams Beck Wasserkraftwerk, welches in der Region Ontario, Kanada, in Niagara Falls situiert ist, wird mittels der Erweiterung durch das NTFP ausgebaut. Der dabei entstehende Druckwasserstollen dient nicht primär der Energieerzeugung, die Aufgabe dieses Stollens ist vielmehr die zusätzliche Wasserableitung in den Sir Adam Becks Komplex. Somit kann die vorhandene Infrastruktur effizienter genutzt werden.

1.2.1 Projektbeschreibung NTFP

Die beiden Kraftwerke Sir Adam Beck I und II werden über zwei Druckstollen mit Wasser versorgt. Die beiden Druckstollen wurden im Jahre 1954 fertiggestellt. Die Kraftwerke sind jedoch über die beiden bestehenden Druckstollen nicht voll ausgelastet. Zu berücksichtigen ist des Weiteren auch das Szenario des Ausfalls einer der Druckstollen oder das Abschalten für Revisionsarbeiten.

Die Initiale Projektidee „ Substitution eines Druckstollens im Fall einer längeren Revision“ wurde 1982 zum ersten Mal in der Geschäftsleitung der OPG diskutiert.

Nach etlichen Jahren der Planung und geologischen Nachweisen wurde am 25. Juni 2004 das Projekt von der Regierung Ontario/Kanada freigegeben und den Energiehersteller OPG beauftragt das Vorhaben zu verwirklichen.

Aufgrund der schon bestehenden Tunnels und der geologischen Verhältnisse wurde das Projekt mit unten stehenden Details zur Fertigung ausgeschrieben und im August 2005 an den österreichischen Unternehmung Strabag AG vergeben.

- 10.4 Kilometer Länge
- Maximale Durchflussrate 500 m^3/sec
- Maximaler Innendruck ca. 15 bar
- Durchmesser Vortrieb 14,45 m

1.2.2 Herstellungsprozesse NTFP

Grundsatzlich sieht das System des NTFP eine primäre Spritzbetonsicherung mit einer unbewehrten 600 mm Betoninnenschale vor. Um die Dichtheit nach aussen zum Gebirge hin zu gewährleisten, wird zwischen Spritzbeton und Innenschale eine Abdichtungsmembrane installiert. Weiters werden Injektionsarbeiten auf beiden Seiten der Dichtungsbahnen ausgeführt um den Tunnel zu Betten und Vorzuspannen.

1.2.2.1 Geologisch- Geotechnische Verhältnisse

Die horizontale Schichtung des Gebirges ist charakteristisch für die geologischen Verhältnisse in dieser Gegend. Die Schichtung des Tongesteins stellt jedoch auch den bedeutendsten Nachteil für den Tunnelbau dar.

Eine dichte Auskleidung ist aufgrund der geologischen Verhältnisse (quellfähiger Tonstein) erforderlich. Daher beschränkt sich die Auswahl der Auskleidungsart auf wenige Varianten. Stahlpanzerungen oder „GFK“ Ausführungen der Innenschale sind, aufgrund des sehr großen Querschnitt von 12,6 – 12,9 m, aus monetärer Hinsicht nicht vertretbar und unwirtschaftlich. Eine Betonauskleidung mit Abdichtungsmembrane stellt die kostengünstigste Variante dar.

Wegen den ungünstigen geologischen Verhältnisse und den dadurch aufgetreten enorm großen Überprofilausbrüchen, musste der Unternehmer spezifische Methoden zur Aufrechterhaltung des Vortriebs entwickeln. Spannungsbedingte Überbrüche erreichten lokal eine Tiefe von bis zu 6 m.

Für die Nachprofilierungsarbeiten waren umfassende Konsolidierungsinjektionen notwendig, um die gewünschten Eigenschaften des Gebirges für die Bettung der Innenschale wieder zu herzustellen. Die Auswirkungen betrafen in weiterer Folge ebenso das Abdichtungssystem, welches dem nun sehr ungleichmäßigen Regelprofil nicht mehr folgen konnte. Das angedachte Zweilagensystem wurde daher im Gewölbe durch ein Einlagensystem ersetzt werden.

1.2.2.2 Abdichtung der Sohle und Installation der Injektionsschläuche

Ein Großteil der Geologie, in der der Tunnel mittels TBM aufgefahren wird, ist ein sogenannter „Queenston Shale“. Bei dieser Tonsteinart wird eine Quellfähigkeit vermutet. Daher wird vom Bauherrn gefordert, dass Tunnel nach außen hin absolut Wasserdicht abgedichtet wird. Denn sollte das Gestein zu quellen beginnen besteht die Gefahr einer starken Beschädigung die Tunnelschale. Weiteres ist eine Vorspannung der Tunnelschale erforderlich, um den hohen Wasserdruck von bis zu 15 bar im Betriebszustand standzuhalten.

Um den Tunnel in der Sohle abzudichten wird eine 2 Meter breite und 15,3 Meter lange VLDPE - Polyethylen Folie ausgelegt. Vor der Verlegung der Dichtungsbahnen werden

weiche Vliesbahnen zum Schutz der Folie und Injektionsschläuche für den nachfolgenden Injektionsprozess installiert.

1.2.2.3 Betonieren der Sohle

Nach der Applikation der Sohleabdichtung (etwa 1/3 des Umfanges) wird dieser Bereich vorab mit einem speziell konzipierten Schalwagen betoniert. Der Schalwagen ist auf einer eine 80 Meter lange Brücke, welche auch zugleich die Logistik für die Abdichtung der Sohle bietet, installiert. Die Betonage erfolgt blockweise, jeder Block ist 12,5 Meter lang. Mittels der Blocknummer wird ebenfalls der Fortschritt dokumentiert. Insgesamt weist der Tunnel 814 Blöcke auf.

<u>Blocknummern</u>

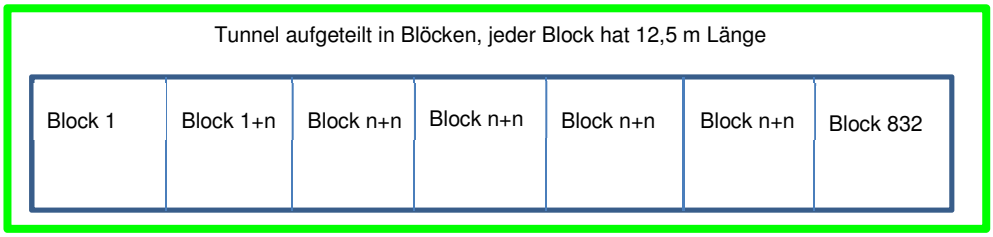


Abbildung 2: Blocknummern auf den Tunnel verteilt

Jeder Block hat eine minimale Stärke von ca. 600 mm. Durch die Betonage der Sohle wird sogleich die Fahrbahn der nachfolgenden Nachbehandlungswagen hergestellt. Die Fahrbahn besteht aus den sogenannten „Curbs“, siehe Abbildung 12 Pos. 12.

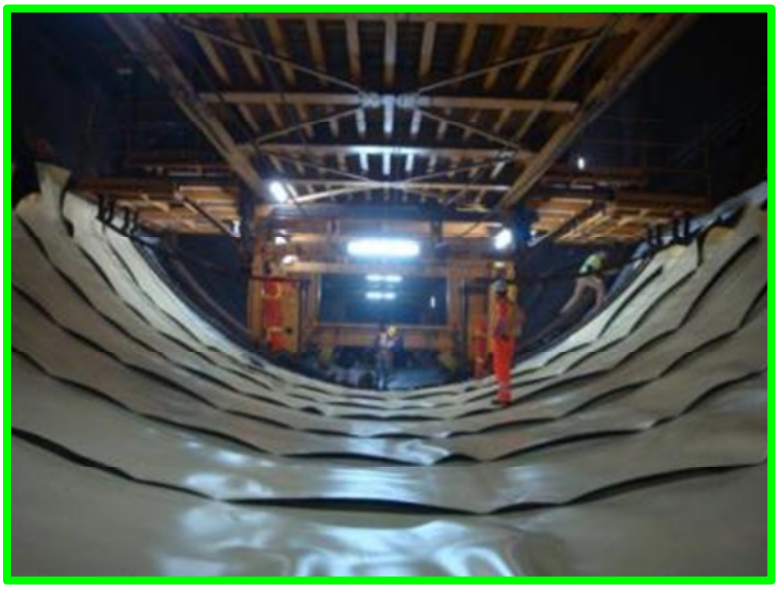


Abbildung 3: Ansicht der Brücke für die Bearbeitung der Sohle

1.2.2.4 Nachprofilierung

Um die im Vortrieb verursachten Ausbrüche für die nachfolgenden Prozesse im Gewölbe des Tunnels auszubessern, wird ein Bearbeitungsvorgang benötigt, welcher sich „Nachprofilierung“ nennt. Diese Bearbeitungsvorgang schreitet unmittelbar nach dem Betonieren der Sohle voran um sicherzustellen, dass die nachfolgenden Prozesse einen gleichmäßigen Radius des Gewölbes vorfinden.

1.2.2.5 Abdichtung des Gewölbes

Wie unter Punkt 1.2.2.2 beschrieben, muss auch das Gewölbe abgedichtet werden (etwa 2/3 des Durchmessers). Wie auch bei der Abdichtung der Sohle sind vorerst im Gewölbe die Injektionsschläuche und eine Vliesschicht zu installieren. Am Gewölbe jedoch wird im Vergleich zur Sohle eine elektrisch prüfbare „VLDPE–very low density polyethylene Folie“ mit einer Einbaubreite von 3,8 Metern und einer Länge von 31 Metern benötigt. Die ca. 450 kg schwere Folie wird mittels einer Folienverlegemaschine an die Gewölbeoberfläche installiert.

Abbildung 4: Folienverlegung

1.2.2.6 Gewölbe Betonage

Um die Tunnelschale zu schließen wird nach der Montage der Gewölbeabdichtung im Gewölbe das Gewölbe betoniert. Die Betonage erfolgt wie bei der Sohle durch eigens entwickelte Schalwagen welche ebenfalls immer ein Block betonieren können. Um eine Betonstärke von ca. 60cm auf die Länge von 12,5 Metern zu erreichen, werden im Schnitt 289 m³ Beton benötigt.

1.2.2.7 Injektionsarbeiten

Das statische Konzept des Tunnels sieht eine Kontaktinjektion und eine Vorspanninjektion vor. Aufgrund der Ausführungsart dieser Injektionsarbeiten spricht man von einem „passiv vorgespannten Druckstollen“. Dies kommt daher, da die Betoninnenschale sich durch das Verpressen mit Zementsuspension verformt und unter Spannung gesetzt wird. Notwendig ist dieses System damit die hohen Zugspannungen, welche beim Abschließenden Füllprozess des Tunnels auf die Betoninnenschale wirken, kompensiert werden.

Die Durchführung als passive vorgespannter Druckstollen am NTFP ist aufgrund der extrem schlanken Tunnelauskleidung sowie des Umfanges und der Komplexität der Injektionsarbeiten ein Novum im Druckstollenbau. Unbewehrte, passiv vorgespannte Druckstollenauskleidungen weisen in der Regel bedeutend geringere Querschnitte oder dickere Innenschalenstärken auf. Die Auslastung der Innenschale gelangt hiermit an seine Grenzen. Somit bedarf es besonderer Monitoring- (Vermessung-) Maßnahmen um die Standsicherheit der Innenschale zu gewährleisten.

Der Druckstollen weist die Form eines Dückers auf. Am Einlauf und Auslauf des „Düker-Bauwerks“ ist der wirkende Innenwasserdruck nahezu null. Die Fließgeschwindigkeit liegt bei ca. 4 Meter pro Sekunde. Der wirkende Innenwasserdruck verursacht eine Zugspannung in der Druckstollenauskleidung. Für eine rissfreie Auskleidung wird diese vorgängig vorgespannt.

Um eine Ausführung als passive vorgespannte Druckstollenauskleidung herzustellen sind folgende Injektionsvorgänge notwendig.

- Kontaktinjektion

  Bei der der Kontaktinjektion wird eine Zementsuspension durch im Betonier-Vorgang vorbereitet Öffnung eingebracht. Diese so genannte Bohrlochinjektion erfolgt zwischen Abdichtungsmembrane und Innenschalenbeton. Abschnittsweise werden Injektions-Sperren eingebaut, um Austritte aus Betonierfugen zu vermeiden. Durch die Kontaktinjektion werden Fehlstellen wie Lunker und Nester oder Risse durch Schwinden im Innenschalenbeton verfüllt. Verletzungen der Abdichtungsmembrane durch Unebenheiten an der Außenseite des Innenschalenbetons durch den späteren Vorspannprozess werden somit verhindert

- Vorspanninjektion

  Um den Tunnel vorzuspannen wird mittels hinter der Folie verlegter Injektionsschläuche eine so genannte Manschetten-Schlauchinjektion ausgeführt. Durch die Injektion der Zementsuspension werden Verformungen der Innenschale hervorgerufen, welche Druckspannungen im Tunnelquerschnitt zur Folge haben. Diese Verformungen werden mittels Laserscanner vermessen und dienen zur Steuerung des komplexen Vorspann-Injektionsprozesses.

1.2.3 Auswirkung Änderung Anwenderspezifikationen am NTFP

Vortrieb

Wie oben erwähnt wurden seit dem Jahre 1982 die geologischen Verhältnisse des Gesteins für das NTFP erforscht. Der Einsatz einer Hartgestein Tunnelbohrmaschine war somit der logische Schluss.

Das Gebirgsverhalten zeigte auf Grund der hohen Horizontalspannungen ein abweichendes Verhalten. Die geänderten Ausbruchsverhalten zog weitreichende Komplikationen auf das gesamte System und letztendlich den Termin für die Erstbefüllung mit sich.

Anpassungen musste an der TBM in der Folge durchgeführt werden. Die Auswirkungen der vorhandenen geologischen Verhältnisse sind enorme Ausbrüche von bis zu 6m in der Firste des Gewölbes (siehe Abb. 5)

Abbildung 5: Ausbruch nach der TBM

Nicht nur der Vortrieb ist von diesen Änderungen betroffen, sondern auch alle nachfolgenden Sondermaschinen welche für den Ausbau des Gewölbes verwendet werden. Ursprünglich sind die Toleranzen des Ausbruches ±15 cm .

Der Regelquerschnitt der NTFP sieht einen Innendurchmesser von 12,60 Metern vor. Überprofile welche aufgrund des Ausbruches in geologisch ungünstigen Zonen ein bedeutendes Maß erreichten machten es trotz Restaurierungsarbeiten nötig, die Toleranzen von 15 cm auf 35 cm zu erhöhen. Mit diesen geänderten Voraussetzungen wurde es bedeutend schwieriger, entsprechende Sondermaschinen zu entwickeln oder zu adaptieren.

Auch die FVM war von den ständigen Änderungen der Anwenderspezifikationen betroffen. Durch die vergrößerten Toleranzen mussten stahlbautechnische, elektrische, hydraulische und programmiertechnische Modifikationen vorgenommen werden.

Folie und Klettsystem

Die Abdichtung des Gewölbes stellt eine hohe Herausforderung an die Abdichtungsabteilung und der dafür verwendeten Sondermaschine. Die Herstellung der Maschine ist deshalb so aufwendig, da sich das zu verarbeitende Material und die Toleranzen der abzudichtenden Fläche im Laufe der Entwicklungszeit der Maschine ändern. Die zu verlegende Folie für das NTFP im Gewölbe musste ebenfalls aufgrund der Änderung des Ausbruchsverhaltens modifiziert und neu entwickelt werden. Um jedoch die neuentwickelte Folie an der Tunnelwand installieren zu können, muss die Maschine ebenfalls adaptiert werden. Dies bedingt auch eine Neuentwicklung in den Automatisierungskomponenten.

1.3 Beschreibung der Folienverlegemaschine

Folienverlegemaschine finden in vielen Bereichen ihre Anwendung. Die wohl bekanntesten Maschinen finden im Agrarbau (siehe Abb. 7) und in der Straßenmalerei (siehe Abb. 6) ihre Verwendung. Im Agrarbau werden Folienverlegemaschine verwendet um die Mulche mit einer für die Saat durchlöcherten Folie abzudecken. Bei der Straßenmalerei werden Folienverlegemaschine eingesetzt um die Fahrbahnabschnitte mittels einer Folie zu kennzeichnen. Jene Maschinen werden in Serie gefertigt und werden kommerziell vertrieben. Im Regelfall handelt es sich hierbei um kleine, leicht transportierbare Maschinen mit einem Gewicht in der Größenordnung von bis zu einer Tonne.

Abbildung 6: FVM im Straßenbau

Abbildung 7: FVM im Agrarbau

Eine individuelle und einzigartige Anwendung finden Folienverlegemaschine im Tunnelausbau. Für die Anwendung im Tunnelausbau wurden bis heute erst etwa 15 voll- und halbautomatische Folienverlegemaschine weltweit entwickelt.

Jede Maschine ist eine eigens für den mit Folie auszukleidenden Tunnel hergestellte Sondermaschine und weicht von ihren oben angeführten Namensvettern in ihrer Größe und Gewicht stark ab. Die Hauptfunktion dieser Maschinen besteht darin, das Gewölbe des Tunnels mit einer Abdichtung zu versehen. Die Maschine amortisiert sich ausschließlich durch ihre Einsatzdauer aufgrund der Länge des Tunnels. Aufgrund der Größe der abzudichtenden Tunnels ist die die Verlegung der Folie ohne eine Maschine - händische Verlegung, nur mit sehr hohem Personalaufwand möglich. Das Verhältnis von händischer zur maschinellen Verlegung steht 7 zu 1 der benötigten Arbeitskräfte.

Die Differenzierung dieser Maschinen ergibt sich aus:

- Tunnelgröße (Länge und Durchmesser)
- Untergrundbeschaffenheit
- Typ der zu verlegenden Folie
- Befestigung des Abdichtungssystems
- Infrastrukturelle Gegebenheiten im Tunnel

Beispiel eingesetzter Folienverlegemaschine

Projekt / Ort / Datum Einsatz	Gewicht	Länge	Radius	Abdichtungssystem
Perschling	14 t	6 m	Variabel	Klebesystem
Gotthart Tunnel	8 t	6 m	Begrenzt	Klettsystem
NTFP / Kanada / 2010-2013	33 t	6 m	Variabel	Klettsystem

Tabelle 1: Eingesetzte Folienverlegemaschine

Folienverlegemaschine beim NTFP

Die Folienverlegemaschine die im NTFP eingesetzt wird, ist weltweit die erste Maschine welche zu den starken Über- und Unterprofilen an der Tunnelwand zusätzlich auch noch die Förderbandanlage der vorlaufenden Tunnelbohrmaschine integriert hat (siehe Abb. 12, Pos. 11)

Anforderungen an die Maschine

Die Anforderung an die Maschine ist, 7 Bahnen mit einer Breite von 3,9 Meter und 31 Metern Länge in einer 12 Stunden Schicht zu installieren.

Zu verlegendes Material der Folienverlegemaschine beim NTFP

Für die Abdichtung von Untertageanlagen und Tunnels wird meist eine kombinierte Polyethylen Membrane mit geringer Dichte eingesetzt. Polyethylen ist ein teilkristalliner weicher thermoplastischer Werkstoff. Die Vorteile bestehen in der sehr geringen Wasseraufnahmefähigkeit von < 0.01%, einer Reißdehnung von >400%, einer Druckaufnahme von 7-10 N/mm² und einer sehr hohen chemischen Beständigkeit (Bergmann, 2008). Dieser Werkstoff lässt sich aufgrund seiner weichen Struktur sehr gut formen jedoch nicht dehnen. Die geringe Elastizität erschwert jedoch das Verlegen bei starken Profilunterschieden im Gewölbe.

Die Besonderheit der Folie besteht darin, dass sie aufgrund ihrer Struktur elektrisch prüfbar ist. Dies ermöglicht nach der Verlegung eine vollflächige Prüfung der Folie mittels spezieller Hochspannungsautomaten.

Technische Daten der verwendeten Membrane anhand einer Bahn (Nietsche, 2009)

Länge: 31 Meter
Breite: 2 + 2 Meter überlappend zusammengeschweißt auf 3,9 Meter
Gewicht: ca. 450kg
Gesamtstärke: 3,0mm -5% +10%
Dauerfestigkeit nach SIA280: ≥7 N/mm²
Reißdehnung: >200%
Bestehend aus: 0,6mm ±0,2 PE VLD Signalschicht, 0,1-0,4mm PE elektrische Leitfähigkeit (Karbon Additiv), 2,0mm PEVLD Grundbahn, 0,4mm elektrisch Leitfähiges Geotextil, Vliesschicht - siehe Abbildung 8

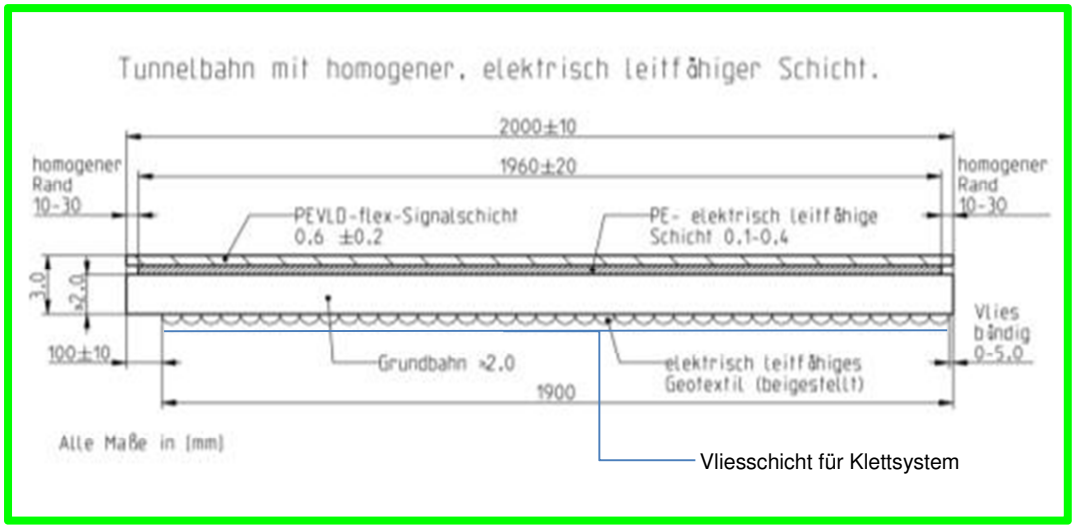


Abbildung 8: Aufbau der Membrane (1, 2009)

Um die Dichtungsbahnen am Gewölbe zu installieren, wird zuerst eine Vliesschicht an der Spritzbetonwand angebracht. Anschließend werden die Klettprofile (siehe Abb.9) an die Wand montiert. Die Kletten dienen zur Aufnahme der auf der Rückseite mit Vlies kaschierten Folie. Das Klettsystem funktioniert wie bei jedem handelsüblichen Klettverschluss. Die Vliesschicht (Abb. 8) fungiert bei der Membrane als der anzudrückende Teil des Klettverschlusses welcher wie eine amorphe Molekülverbindung von Kunstoffen verwebt ist. Das Klett hat viele kleine Borsten, welche am Ende mit einem kleinen Wiederhacken versehen ist und sich somit mit der verwebten Vliesstruktur beim Andrücken verhakt. Die Länge der Borsten ist ausschlaggebend für den Kletteffekt. Ist die Anpresskraft zu hoch und die Borsten zu lang, werden die Borsten geknickt und die Verbindung zwischen Klett und Vlies ist wesentlich geringer.

Abbildung 9: Klett

Untergrundbeschaffenheit

Die Untergrundbeschaffenheit bestimmt die Ausführung der Maschine. Weist die Oberfläche nur kleine Über- und Unterprofilierungen auf, kann die Maschine mit einem starr ausgelegten Verlegbalken die Folie an der Wand installieren. Sind jedoch größere Über- und Unterprofilierungen zu erwarten, muss die Maschine mittels eines Systems ausgestattet werden, welche diese Profilierungen abdecken kann. Um das Membrane erfolgreich zu installieren ist es wichtig, dass die Folie möglichst nahe an der Wand verlegt ist, ohne große Hohlräume zwischen dem Spritzbeton und der Folie aufzuweisen. Im Falle des NTFP wurde anfänglich, wie schon unter Punkt 1.2.3 beschrieben, Unebenheiten von gerade mal 15 cm auf eine Länge von 4 Metern erwartet. Durch die veränderten geologischen Verhältnisse sind die von der Maschine auszugleichenden Toleranzbereiche auf 35 cm auf eine Länge von 4 Meter erhöht.

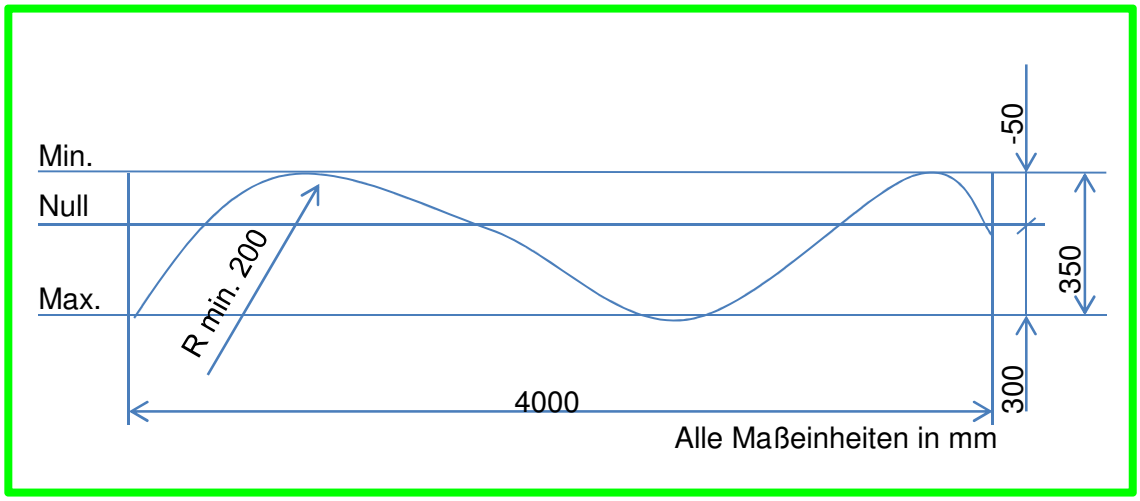


Abbildung 10: Darstellung Toleranzen im Gewölbe

1.3.1 Grundaufbau

Die Folienverlegemaschine wird auf dem Abdichtungszug (Abb. 11 Pos. 1) geführt. Der Abdichtungszug hat eine Länge von 130 Meter und ein Gesamtgewicht von etwa 250 Tonnen. Der Zug besteht aus 10 Unterwägen, die als fahrbarer Unterbau für die darauf platzierten, unabhängige manövrierbaren Arbeitsgerüsten sowie der Folienverlegemaschine. Auf den Unterwägen befinden sich darüber hinaus sämtliche Infrastruktureinrichtungen wie z.B. Stromversorgung und Luftkompressoren. Der gesamte Abdichtungszug bewegt sich wie ein Zug (siehe Abb. 11, Pos.1) mit einer Geschwindigkeit von 1,3 m/min voran. Die Antriebsräder werden durch ein elektrisch angetriebenes 50 kW Hydraulikaggregat bewegt. Alle auf dem Zug montierten Wagen sind ebenfalls hydraulisch angetrieben und bewegen sich über eine Zugkette, welche am oberen Teil des Zuges in der Mitte geführt ist. Die gesamte Tunnellogistik, für den laufenden Prozess, (Betonmischer / Materialtransporter / Schichtbusse / Servicefahrzeuge, siehe Abb. 12, Pos. 13) erfordert immer eine Durchfahrtsmöglichkeit für Fahrzeuge, Deshalb ist der Zug so konstruiert, dass Fahrzeuge mit einer maximalen Höhe von 4,2 Metern und einer Breite von bis zu 2,8 Meter ständig unter dem Abdichtungszug hindurchfahren können. Der Abdichtungszug besteht aus 5 Hauptelementen.

- Grundwagen Pos.1 – Mutterschiff, Transporteinheit und Aufnahme der darunter angeführten Wägen
- Arbeitsgerüstwagen Nr. 1 Pos. 2 – Demontage der Förderbandketten, geringfügige Sanierungsarbeiten am Untergrund
- Arbeitsgerüstwagen Nr. 2 Pos. 3 – Verlegung der Injektionsschläuche und der Vliesschicht und Installation der Kletts
- Folienverlegemaschine Pos. 4 – anbringen der Folie
- Arbeitsgerüstwagen Nr. 3 Pos. 5 – Schweißen der Folie und Nachbesserungsarbeiten sowie das prüfen der Scheißnähte

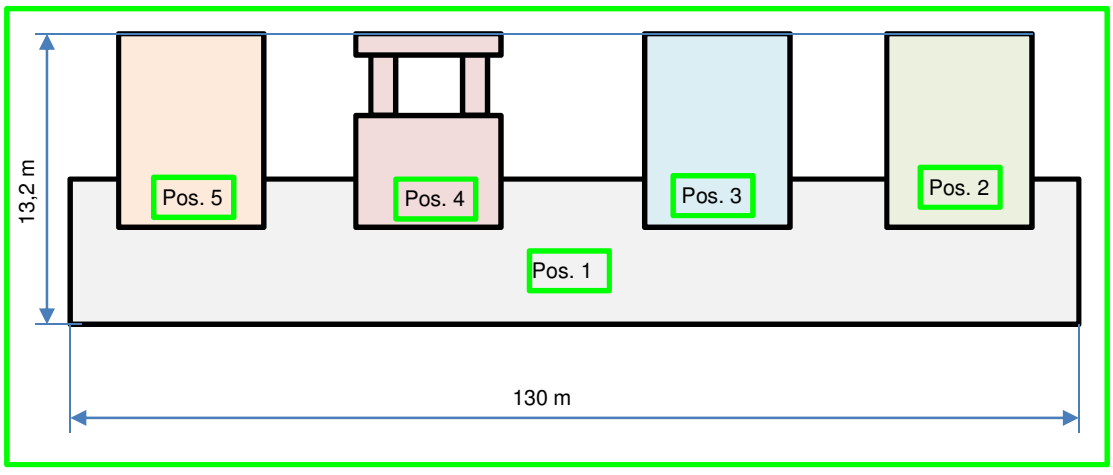


Abbildung 11: Abdichtungszug

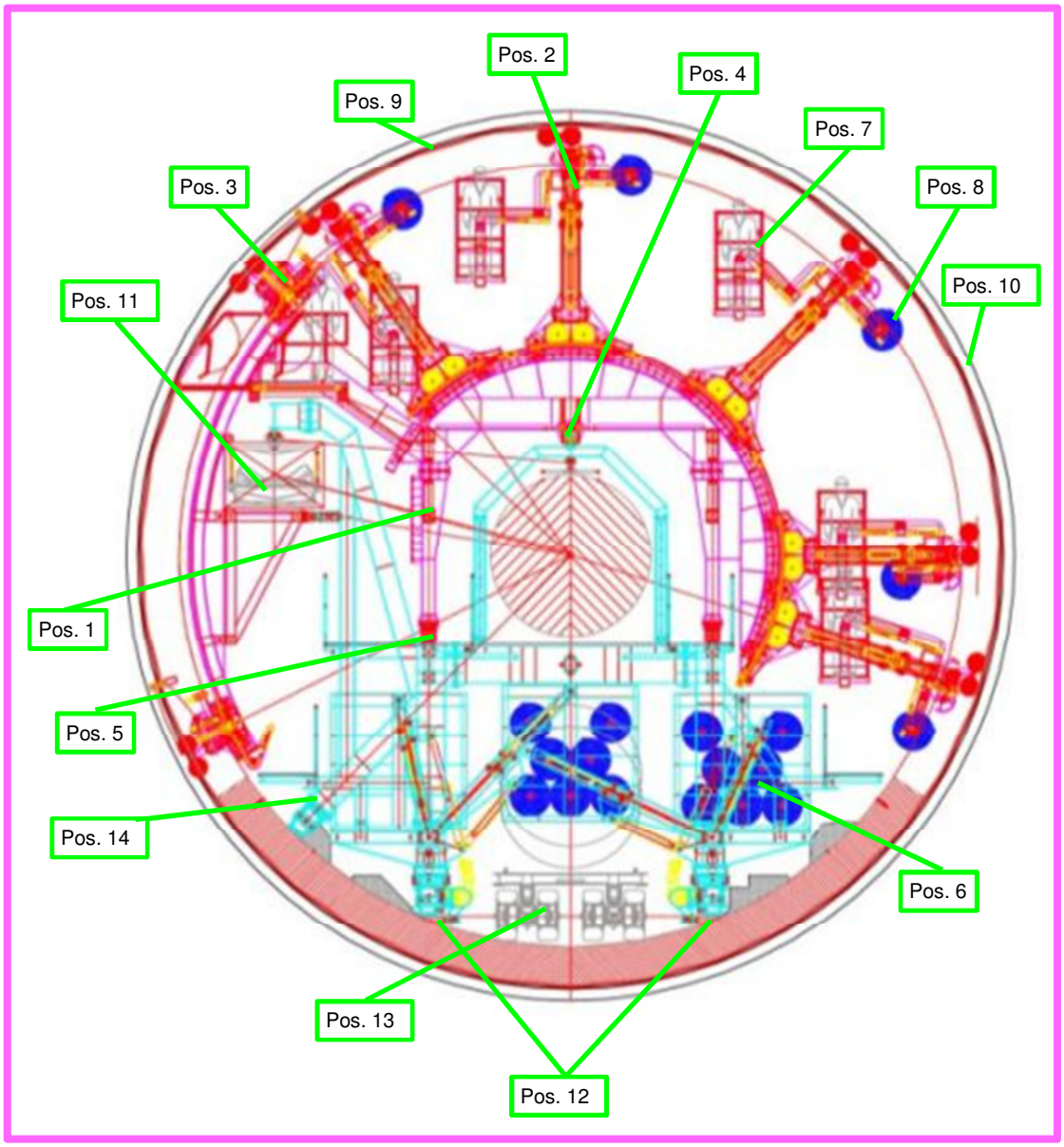


Abbildung 12: Übersicht FVM mit Logistik

Legende Abbildung 24
Pos. 1 = Grundwagen FVM (pink)
Pos. 2 = Haupterektor FVM (rot)
Pos. 3 = Seitenerektor FVM (rot)
Pos. 4 = Kettenzug (rot) zur Längsverschiebung
Pos. 5 = Schienensystem
Pos. 6 = Folienmagazin
Pos. 7 = Korb
Pos. 8 = Folienaufnahme an der FVM
Pos. 9 = installierte Folie
Pos. 10 = Spritzbeton
Pos. 11 = Förderbandanlage der TBM
Pos. 12 = Fahrbahn „Curbs“
Pos. 13 = Transporter
Pos. 14 = Abdichtungszug (türkis)

Folienverlegemaschine – FVM

Die Maschine besteht aus drei Grundelementen (siehe Abb. 13) Pos. 1 Grundwagen, Pos 2 Haupterektor , Pos. 3 Seitenerektor.

Bezeichnung	Daten
Gesamtgewicht	Ca. 33.000 kg
Max. Fahrgeschwindigkeit	3 m/min
Stromversorgung	600 VAC 80 Ampere
Länge	6.000 mm
Äußerster Radius	13.800 mm

Tabelle 2: technische Daten FVM 1

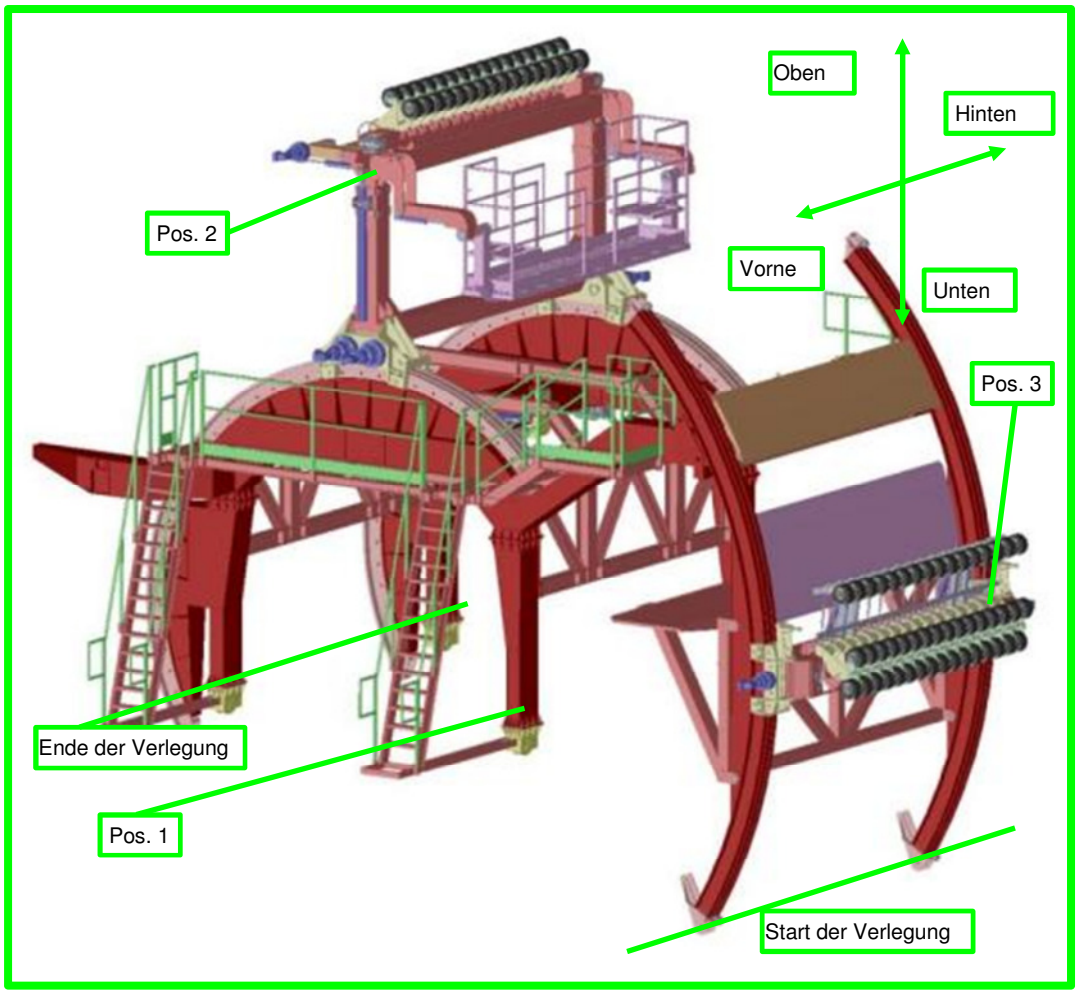


Abbildung 13: Grundaufbau FVM Bild 1

Pos.1 Grundwagen

Das Grundgerät dient zur Aufnahme aller Aggregate, Schaltschränken, Luftkompressoren, Verkabelung, und zur Führung der beiden Erektoren. Mit Unterstützung des Grundwagens schreitet die Folienverlegmaschine über einen Kettenantrieb auf dem Zug voran. Geführt wird die Einheit durch vier aufgesetzte Aufnahmeräder, die auf einem eingebauten Schienensystem (Abb. 12 Pos. 5) und dem Kettenzug (Abb. 12 Pos. 4) laufen. Das Grundgerät weist folgende technischen Daten auf:

Bezeichnung			Daten
Gesamtgewicht			18.5 T
Max. Fahrgeschwindigkeit			3 m/min
Stromversorgung			600 VAC / 24 VDC
Bremssystem			2x Bremsspangen
	Mechanisch		
		Feder	15 kN
	Elektro / hydraulisch		Redundant geschalten
		Schaltventile	24 VDC / 1 Ampere
Antriebseinheit			Hydraulisch / mechanisch
	Motor		2x hydraulisch
		Schluckvolumen	195 ccm
		Arbeitsdruck (kont.)	140 bar
		Hyd.-Mo Nm (kont. Druck)	345 Nm
		Arbeitsdruck DBV (max.)	180 bar
		Hyd.-Mo Nm (kont. Druck)	450 Nm
	Getriebe		mechanisch
		Übersetzung	13,4
		Getriebe (kont. Mo)	3.520 Nm
		Getriebe (max. Mo)	7.040 Nm
	Antriebswelle		2x Stahl
		Max. Mo. aufnehmbar	11.264 Nm
	Steuerung		Elektro / Hydraulisch
		Schaltventile	24 VDC und 0-10 VDC
		Bedienung	SPS gesteuertes Bedienpult
		Ansteuerung	SPS Step 7
Luftkompressor			2x 4,5 m³/min

Tabelle 3: technische Daten FVM Grundwagen

Pos.2 Haupterektor

Der Hpt.-Erektor ist zur Folienaufnahme und für zwei Drittel der zu verlegende Fläche im Gewölbe zuständig. Am Haupterektor ist ein Korb (siehe Abb. 12, Pos. 7) angebracht welcher ein Bedienen und das Mitfahren mit der Maschine ermöglicht.

Bezeichnung			Daten
Gesamtgewicht			Ca. 9.5 T
Max. Fahrgeschwindigkeit			1,5 m/min
Stromversorgung			120 VAC / 230 VAC / 24 VDC
Bremssystem			Im Fehlerfalle durch verkeilen des Erektors
Antriebseinheit			Hydraulisch / mechanisch
	Motor		4x hydraulisch
		Schluckvolumen	160 ccm
		Arbeitsdruck (kont.)	160 bar
		Hyd.-Mo Nm (kont. Druck)	360 Nm
		Arbeitsdruck DBV (max.)	200 bar
		Hyd.-Mo Nm (kont. Druck)	450 Nm
	Getriebe		mechanisch
		Übersetzung	22,1
		Getriebe (kont. Mo)	15.700 Nm
		Getriebe (max. Mo)	31.400 Nm
	Antriebswelle		2x Stahl
		Max. Mo. aufnehmbar	11.264 Nm
	Steuerung		Elektro / Hydraulisch
		Schaltventile	24 VDC und 0-10 VDC
		Bedienung	SPS gesteuerte Bedienpulte
		Ansteuerung	SPS Step 7

Tabelle 4: technische Daten Haupterektor

Pos.3 Seitenerektor

Der Seitenerektor ist erforderlich um den Bereich, welcher hinter dem auf der Seite geführten Förderband (siehe Abb. 12 Pos. 11) abzudecken. Bei den bisher gebauten Maschinen war eine solche Konstruktion nicht notwendig, da die Verlegung entweder nachdem der Tunnelvortrieb abgeschlossen war oder das Materialförderband der TBM mittig geführt wurde. Der Seitenerektor ist eine für sich eigenständige Einheit und kann vom Haupterektor aus oder vom unteren Teil des Seitenerektor aus gesteuert werden.

Bezeichnung			Daten
Gesamtgewicht			Ca. 5 T
Max. Fahrgeschwindigkeit			1,5m/min
Stromversorgung			24 VDC
Bremssystem			Im Fehlerfalle durch verkeilen des Erektors
Antriebseinheit			Hydraulisch / mechanisch
	Motor		2x hydraulisch
		Schluckvolumen	80 ccm
		Arbeitsdruck (kont.)	180 bar
		Hyd.-Mo Nm (kont. Druck)	195 Nm
		Arbeitsdruck DBV (max.)	200 bar
		Hyd.-Mo Nm (kont. Druck)	210 Nm
	Getriebe		mechanisch
		Übersetzung	14,6
		Getriebe (kont. Mo)	4.660 Nm
		Getriebe (max. Mo)	9.320 Nm
	Antriebswelle		2x Stahl
		Max. Mo. aufnehmbar	5.120 Nm
	Steuerung		Elektro / Hydraulisch
		Schaltventile	24 VDC und 0-10 VDC
		Bedienung	SPS gesteuerte Bedienpulte
		Ansteuerung	SPS Step 7

Tabelle 5: technische Daten Seitenerektor

1.3.2 Funktionsablauf

Die Funktion dieser Sondermaschine ist durch die Anwenderspezifikation bestimmt. Um zu ermöglichen, dass nur zwei Maschinisten die Maschinen bedienen, wurde die Maschinenfunktion dementsprechend neu entwickelt. Die Maschinenbedienung ist durch insgesamt 3 Bedienpanels möglich. Je nach Prozessablauf und Sichtbereich wird eines der Bedienpanels gewählt. Hersteller aller Bedienkomponenten ist die Firma Siemens. Der Bedienablauf ist in der Betriebsanleitung der Maschine genauestens Beschrieben.

Grundsätzlich teilt sich die Maschine in eine Automatik- und in einen Servicebetrieb auf.

1.3.2.1 Automatikbetrieb

Sind alle geforderten Modus Schalter auf Automatik gesetzt befindet sich die Maschine in einem Automatikbetrieb. In diesem Betriebsmodus folgt die Steuerung einem Schrittprogramm und der Bediener ist somit gezwungen den unten beschriebenen Prozess einzuhalten. Der Automatikbetrieb kann jederzeit mittels der an jedem vorhandenen Not-Aus Schalter oder den Wahlschaltern Service/Automatik unterbrochen werden. Im Fehlerfalle ist die Wahl des Automatikbetriebes nicht möglich. Wird die Maschine im Automatikbetrieb bedient wird der Bediener und umgebenen Arbeitskräfte durch ein akustisches und visuelles Warnsignal (Signalhorn und Warnleuchten) gewarnt.

1.3.2.2 Servicebetrieb

Im Servicebetrieb können alle einzelnen steuerbaren Komponenten mittels der Panels bedient werden. Der Servicebetrieb ist definiert für den Betrieb wenn Service oder Reparaturarbeiten an der Maschine durchgeführt werden müssen. Im Fehlerfalle kann in diesem Modus durch einen zusätzlich installierten Bypass Schalter die Maschine aus Gefahrensituationen gefahren werden.

1.3.2.3 Phasen zur Folienverlegung

Der gesamte Prozess zur Verlegung der Folie mittels der Maschine teilt sich in 27 Phasen ein.

Der Bediener der Maschine wird durch die programmierte Abfolge durch die verschiedenen Phasen mittels Blinkmustern der Drucktaster auf den Bedieneinheiten geführt.

Die Einhaltung der Phasen ist für einen erfolgreichen Verlegeprozess und der sicheren Handhabung der Maschine zwingend erforderlich. Die Bedienung der Maschine und die Phasen zur Verlegung sind in der Betriebsanleitung ausführlich beschrieben.

2 Allgemeines im Sondermaschinenbau

Um Projekte mit speziellen Anwenderspezifikationen erfolgreich umzusetzen, erfordert dies auch geeignete Maschinen. Diese Maschinen fallen im Bereich Maschinenbau unter die Begriffsbezeichnung und Definition „Sondermaschine“. Sondermaschinen sind aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften, welche stark projektbezogen definiert sind, auch nicht für eine Serienfertigung geeignet und meistens für weiterführende Projekte unbrauchbar.

In ggs. Falle des NTFP ist eine Serienfertigung der Maschine angestrebt und die bereits bestehende Sondermaschine dient als ein sogenannter Prototyp für eine Serienfertigung.

Vorteil im Sondermaschinenbau

Eine Sondermaschine ist für gewöhnlich zum größten Teil komplett neu entwickelt, um die speziellen Anwenderspezifikationen zu erreichen. Durch vernünftige Projektierung und Kostenabschätzung einer Sondermaschine kann der Hersteller ein hohes Potential an technologischem Wissen erlangen und somit seinen Marktwert deutlich erhöhen. Ein großer Vorteil liegt darin, dass der Kunde die Entwicklungskosten bezahlt, während zum Beispiel im Prototypenbau alle Entwicklungskosten beim Hersteller liegen und sich die Entwicklungskosten nur durch einen guten Absatz der nachfolgenden Serienmaschinen amortisieren.

Nachteile im Sondermaschinenbau

Besondere Projekte mit speziellen Anwenderspezifikationen bedeuten auch spezielle Kosten. Wird eine Sondermaschine beauftragt, ist oft nicht klar wie sich das Projekt entwickelt und meistens treten nach den ersten Fertigungsschritten unvorhergesehen neue spezielle Herausforderungen im Projekt auf, die die Anwenderspezifikation der Maschine beeinflussen können. Ist dies der Fall müssen oft mit großem Aufwand verbundene Änderungen an der Maschine vorgenommen werden. Dies führt bei mangelhafter Vertragsgestaltung zu erheblichen Kostensteigerungen, die der Auftragnehmer tragen muss. Weiteres ist es durch eine unvorhergesehene Änderung an der Maschine schwierig, das Personal vernünftig einzuteilen. Denn möglicherweise sind jene Mitarbeiter, welche die Sondermaschine entwickelt und aufgebaut haben, schon für weitere Projekte vorgesehen und beschäftigt.

2.1 Richtlinien im Sondermaschinenbau

Selbst wenn Sondermaschinen komplex sind, müssen bei der Entwicklung und Konstruktion die aktuell gültigen Richtlinien für das Land, in dem die Maschine eingesetzt wird, eingehalten werden.

Richtlinien werden im Europäischen Parlament und von dem Rat der Europäischen Union erlassen. So wie alle Richtlinien, welche vom Europäischen Parlament ausgehen, haben diese keine unmittelbare Gesetzwirkung sondern müssen von den einzelnen Mitgliedsstaaten in ihr eigenes nationales Recht umgesetzt werden (Arakanga, 2012).

Der Erlass der Richtlinien hat zum Ziel, dass alle im EU- Raum gefertigten Maschinen, welche „in Verkehr gebracht" werden, denselben Sicherheitsstandard und ein gefordertes Mindestmaß an Qualität aufweisen.

Inverkehrbringen: siehe Seite 254 Artikel 5 (Volker Krey, 2009).

2.1.1 Maschinenrichtlinien

Das Wort Maschinenrichtlinien setzt sich zusammen aus den Worten „Maschine(n) und „Richtlinie(n)"

„Maschine"

Maschine, stammt aus dem griechischen „μηχανή" (*mechané)* und bedeutet „Werkzeug, künstliche Vorrichtung, Mittel".

„

- *Eine mit einem anderen Antriebssystem als der unmittelbar eingesetzte menschliche oder tierische Kraft ausgestattet oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines bzw. eine bewegliche ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind;*
- *Eine Gesamtheit im Sinne des ersten Gedankenstrichs, der leidlich die Teile fehlen, die sie mit ihrem Einsatzort oder mit ihrer Energie- und Antriebsquellen verbinden;*
- *Eine einbaufertige Gesamtheit im Sinne des ersten und zweiten Gedankenstrichs, die erst nach Anbringung auf einem Beförderungsmittel oder Installation in einem Gebäude oder Bauwerk funktionsfähig ist.*
- *eine Gesamtheit von Maschinen im Sinne des ersten, zweiten und dritten Gedankenstichs oder von unvollständigen Maschinen im Sinne des Buchstabens g, die, damit sie zusammenwirke, so angeordnet sind und betätigt werden, dass sie als Gesamtheit funktionieren;*

- *eine Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines bzw. eine beweglich ist und die für Hebevorgänge zusammengefügt sind und deren einzige Antriebsquelle die unmittelbar eingesetzte menschliche Kraft ist; "* (Volker Krey, 2009).

EG - Richtlinie

Das Wort Richtlinie wird durch mit in Verwendung des Kontexts EG-Maschinenrichtlinie folgend definiert.

Europäisches Gemeinschaftsrecht: Verbindliche Anweisung der EG (EU) an die Mitgliedsstaaten, wonach diese ihre eigenen Rechtsvorschriften und Verwaltungsvorschriften entsprechend den Vorgaben der Richtlinie zu gestalten haben. (Gabler Wirtschaftslexicon (Herausgeber))

Anwendung von Maschinenrichtlinien bei der FVM

Grundsätzlich gilt es, die durch die Maschinenrichtlinien harmonisierten Normen umzusetzen. Gerade im Sondermaschinenbau erweist sich das aufgrund der Einzigartigkeit der zu entwickelnden Maschine als schwierig. Beim Bau von Sondermaschinen werden prinzipiell (verpflichtend) in der Planungsphase Normen und Richtlinien miteinbezogen und auch umgesetzt, allerdings müssen oft Änderungen an der Maschine durchgeführt werden nachdem sie *„in Verkehr gebracht*" worden ist. Gerade in diesem Fall ist besonders darauf zu achten, dass die Änderungen zum einen den Sicherheitsbestimmungen und zum anderen den Normen entsprechen.

Die FVM wurde in Deutschland vor dem 31. Dezember 2009 abgenommen. Die Maschine wurde nach den Maschinenrichtlinien 98/37/EG, unter Einhaltung der Niederspannungsrichtlinien 2006/95/EG und den dafür anzuwendenden Normen gebaut und vom TÜV in Deutschland abgenommen.

Alle Neuentwicklungen, welche diese Arbeit beschreibt, wurden erst nach dem Wiederaufbau der Maschine beim NTFP und unter der Einhaltung der Maschinenrichtlinien 2006/42/EG durchgeführt. Um dieser Behauptung zu bekräftigen, wurde vom Hersteller eine nachträgliche EG-Konformitätserklärung durchgeführt um den neuen Maschinenrichtlinien 2006/42/EG gerecht zu werden.

Für weitere Details sei auf folgende Fachbücher verwiesen, welche für die Neuentwicklung verwendet wurden.

Schalten, Schützen in Niederspannungsnetzen (Siemens, 1997)

Elektrische Ausrüstung von Maschinen und maschinellen Analgen (Hyder, 2009)

Praxisleitfaden Produktsicherheitsrecht (Volker Krey, 2009)

VDE 0100 und die Praxis (Kiefer, 2009)

2.1.2 Richtlinien außerhalb des EU-Raumes

Die FVM wurde in Europa entwickelt und inverkehrgebracht und als unvollständige Maschine nach Kanada geliefert und wurde in Kanada unter Einhaltung der Vorort einzuhaltenden Richtlinien in Betrieb genommen. Alle verbauten elektrischen Betriebsmittel haben das nordamerikanische Prüfzeichen für elektrische Betriebsmittel. Durch die TÜV Abnahme in Deutschland sind alle mechanischen, hydraulischen Betriebsmittel abgenommen und gehen konform mit den kanadischen Maschinenrichtlinien und wurden vom Kunden akzeptiert.

2.2 Mechatronik im Sondermaschinenbau

Gerade der Sondermaschinenbau ist durch das Fachgebiet Mechatronik geprägt.

Im Sondermaschinenbau gilt es im Bereich der Mechatronik mechanische Bauteile mittels hydraulisch, elektrisch und elektronisch gesteuerten und geregelten Betriebsmitteln zu einem automatisierten Gesamtsystem zusammenzusetzen. Die Herausforderung besteht dabei, sich mit allen Fachbereichen auseinanderzusetzen um schlussendlich eine automatisierte „*Maschine*“ herzustellen.

3 Theoretischer Teil – Neuentwicklung FVM

Theorie und Praxis – gerade in wissenschaftlicher Hinsicht oft zwei verschieden Aussagen welche sich nicht immer äquivalent wiedergeben lassen. Im Sondermaschinenbau bzw. bei Projekten welche unmittelbar nach der theoretischen Verfassung in die Praxis umgesetzt werden müssen liegen jene zwei Komponenten sehr eng zusammen. In der Theorie kann oft vieles vorweg berechnet und geplant werden, welches aber bei der darauffolgenden Ausführung zu einem negativen Ergebnis führt. In dieser Arbeit befasst sich der theoretische Teil mit dem Hintergrundwissen für die Neuentwicklung der Folienverlegemaschine, die - wie schon unter Abschnitt 1 ausführlich erklärt - beim NTFP ihre Anwendung findet.

Im Falle der FVM, gilt es nicht das System komplett neu zu entwickeln sondern lediglich die bestehenden Maschine auf ihre sichere Nutzung zu prüfen und gegeben Falls anzupassen.

Damit gilt für diese Arbeit

Alle nun angeführten theoretisch erarbeitenden Punkte beziehen sich ausschließlich auf die Komponenten, welche neu entwickelt oder angepasst werden mussten und werden als theoretischer Hintergrund für den praktischen Teil verwendet.

Die Neuentwicklung der FVM ist unter der Bedingung durchgeführt, dass möglichst keine zusätzlichen Kosten an Betriebsmitteln entstehen, vorhandene Betriebsmittel sind zu verwendet und so anzupassen, dass sie die Maschine all ihre notwendigen Funktionen erfüllen kann.

Offene Frage

„Warum muss die Maschine überhaupt neu-entwickelt werden?“

Antwort

- Geänderte Anwenderspezifikationen

  Wie schon oben in der Einleitung erwähnt, hatten sich aufgrund der geologischen Verhältnisse die Anwenderspezifikationen auf alle Maschinen beim NTFP laufend geändert. Nicht nur die Maschinen sondern auch die zu verarbeitenden Materialien mussten angepasst werden.

- Nicht-Erfüllung der Anwenderspezifikationen

  Laut dem Angebot sind die Anforderungen an die FVM für eine Maschine dieses Ausmaßes nicht detailliert definiert. Vertraglich gesehen muss die Maschine alles

können, was der Kunde vorgibt, auch wenn der Kunde das zu verarbeitende Material ständig ändert oder die Maschine andere Umwelteinflüsse erfährt, bis die Maschine vom Kunden abgenommen wurde. Diese fehlenden Informationen haben zu einer Nichterfüllung der Erwartungen des Kunden geführt und somit ebenfalls zu einer Neuentwicklung beigetragen.

- Fehlende Projektplanung und Projektsteuerung

  Aufgrund der Vielfältigkeit der Maschine und der hohen Anforderungen wurde die FVM in Zusammenarbeit mittels dreier Firmen entwickelt. Durch das Fehlen einer vernünftigen Projektplanung und Projektsteuerung kam es zu Fehlentscheidungen in der Ausführung.

3.1 Inspektion der vorhanden Maschine

Bei der Neuentwicklung einer Sondermaschine muss bei einer schon bestehenden Maschine diese analysiert und festgestellt werden, über welches Potential die Maschine verfügt. Dabei wird erkannt, welche Komponenten an der Maschine verbaut sind und über welchen Verwendungszweck, Sicherheitsstandards und Leistung sie verfügen. Die zu inspizierenden Komponenten lassen sich in folgende Bereiche aufteilen.

- Mechanik
- Hydraulik
- Elektrotechnik
- Steuerung

3.2 Einfluss der Umweltbedingungen

Entscheidend für die Auswahl und den Einsatz der an der Maschine zu verwendeten Komponenten sind die Umweltbedingungen bzw. die physikalischen Umgebungs- und Betriebsbedingungen. Diese Bedingungen werden Großteils durch natürliche Einflüsse am Einsatzort der Maschine vorgegeben. Äußere Umwelteinflüsse werden aber ebenfalls durch automatisierte Be- und Entlüftungsanalgen bereitgestellt oder wie im Falle der FVM beim NTFP durch natürliche Vorkommnisse und den Einfluss anderer Maschinen vorgegeben.

Zu beachten sind

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Staubbelastung
- Maschinen mit Einfluss auf Umweltbedingungen in unmittelbarer Umgebung

Umwelteinflüsse sind über längere Zeiträume zu beobachten und auch während des Einsatzes zu protokollieren. Durch die Änderungen der Umwelteinflüsse sind gegebenenfalls Wartungsintervalle zu verkürzen, Komponenten abzugleichen oder sogar Bauteile zu ersetzen. Ein Ignorieren der Umwelteinflüsse kann von leichten Schäden der Maschine bis zum Totalausfall führen. Jeder Hersteller von Bauteilen gibt die Umweltbedingungen an, unter welchen seine Gerätschaften fehlerfrei funktionieren.

Lufttemperatur

Bei der Dimensionierung von beweglichen Ausrüstungen muss stark zwischen der Umgebungstemperatur des Betriebsmittels und der Umgebungstemperatur der gesamten Ausrüstung unterschieden werden.

Für elektrischen Bauteilen gibt es zum Beispiel die Norm (DIN EN 60204-1) welche auf standardisierte Temperaturbereiche verweist = +5℃ – 40℃ ((Hyder, 2009) Seite 74)

Auf die Temperaturen im Betrieb hat der Hersteller der Sondermaschine keinen Einfluss, da er durch die an ihn weitergereichten Anwenderspezifikationen schon über die physikalischen Umgebungsbedingungen informiert worden ist. Um jedoch die Funktionen der Maschine zu gewährleisten und zu schützen, sind jene Temperaturen auch zu beobachten und zu dokumentieren.

Die Temperaturen im Einsatzbereich des Betriebsmittels sind jedoch in Abhängigkeit des Einbauorts sehr unterschiedlich. Dieser Temperaturbereich muss verstärkt überwacht und gegebenenfalls in das Überwachungssystem der Maschine miteinbezogen werden. Im Gegensatz zur äußeren Umgebungstemperatur kann der Hersteller der Sondermaschine durch Einbauort des Betriebsmittels, zusätzlichen Kühlanlagen oder

durch überdimensionierte Auslegung der Komponenten Temperaturprobleme in diesem Bereich unterbinden.

Luftfeuchtigkeit

Hohe Luftfeuchtigkeit wirken sich gerade bei elektrischen und elektronischen Bauteilen bei einem hohen Grade sehr negativ auf die Lebensdauer und Funktionalität der Betriebsmittel aus.

Grundsätzlich sollte die elektrotechnische Ausrüstung in einer Umgebung mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% und 40 °C störungsfrei funktionieren. Bei niedrigen Temperaturen z.B. 20 °C ist eine relative Luftfeuchtigkeit von 90% zulässig.

Die größte Gefahr elektrische Betriebsmittel zu beschädigen, geht von der Kondenswasserbildung aus, welche durch starke Temperaturschwankungen und einer hohen Luftfeuchtigkeit gefördert wird.

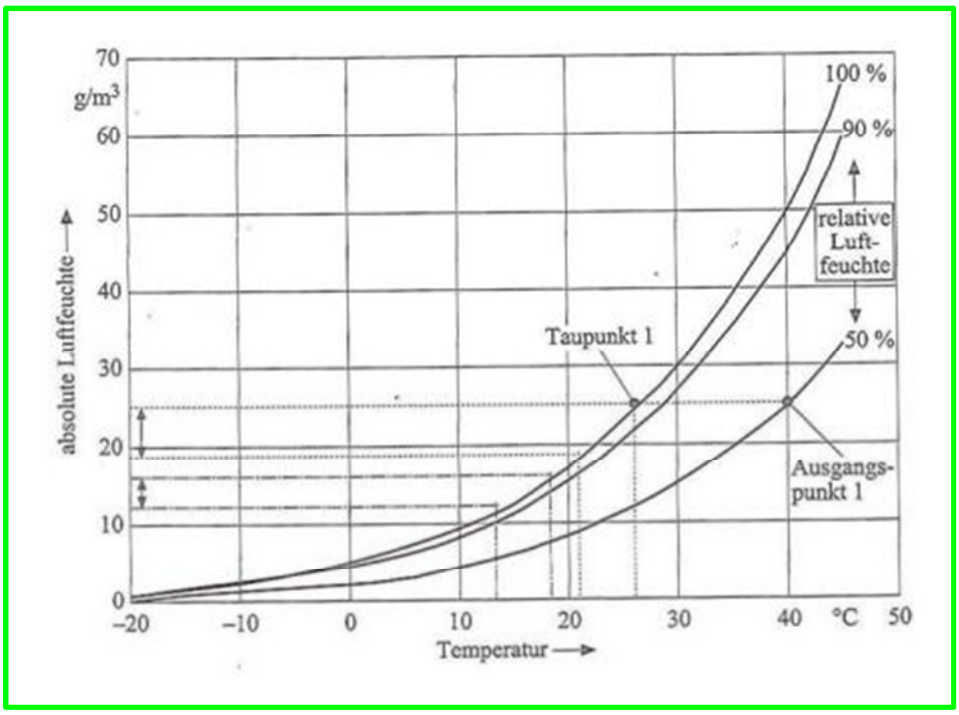


Abbildung 14: Temperatur und Luftfeuchtigkeit elektrische Betriebsmittel (Hyder, 2009)Seite 76

Messung der Temperaturen und Luftfeuchtigkeit können mit handelsübliche Quecksilberthermometer und einem Hygrometer durchgeführt werden. Bei Langzeitmessungen werden digital-analoge Sensoren und Aufzeichnungssoftware für die Messungen verwendet. Die Auswertung erfolgt anhand des unter Abb. 14 abgebildeten Grafen.

Verschmutzungen

Bei Verschmutzung von Betriebsmitteln spricht man bei einer FVM, welche von Menschenhand direkt gesteuert wird, nicht von schädlichen, gefährlichen oder lebensbedrohenden Gasen oder Flüssigkeiten. Zu Verschmutzung zählen Abgase von Kraftfahrzeugen, Staubbelastung von im Tunnel, voranschreitenden Operationen wie z.B. Spritzbeton. Wie schon bei der Luftfeuchtigkeit sind elektrische Betriebsmittel aufgrund ihrer zum Teil offenen Bauweise am Anfälligsten.

Verschmutzungen lassen Kriechwege entstehen, insbesondere in Verbindung mit hoher Luftfeuchtigkeit. Folge sind nicht nur Erdschlüsse, viel schlimmer können ungewollte Überschläge in Form von Kontaktüberbrückungen sein. Hierbei ist nicht nur an staubförmigen Schmutz zu denken, wie er z.B. in Stahl erzeugenden Betrieben auftritt, sondern auch an Niederschlag dampfförmiger Substanzen, wie z.B. in Galvanisierbetrieben oder Dieselmotorenabgase. (Hyder, 2009), Seite 79.

Bei hydraulischen Systemen handelt es sich um geschlossene und abgedichtete Komponenten, welche durch eine hohe Staubbelastung nicht kritisch betroffen sind.

Bei mechanischen Bauteilen wie Ketten, beweglichen Bolzen und Gelenken müssen bei höherem Grad der Verschmutzung die Schmiermittel angepasst werden und verkürzten Reinigungsintervalle geplant werden.

Das Messen der Staubbelastung bzw. Verschmutzung im Falle der FVM, kann durch elektronische Staubmessgeräte oder durch eine einfache Sichtkontrolle festgestellt werden.

3.3 Festlegen der Anwenderspezifikationen

Wie schon oben beschrieben sind die Anwenderspezifikationen essentiell für eine erfolgreiche Entwicklung einer Sondermaschine.

Das einzige Motiv das eine Maschine „neu“ zu entwickeln ist, dass sich die Anwenderspezifikationen geändert haben! Nicht alle Randbedingungen können im Voraus im Tunnelbau bestimmt werden und es kann zu laufenden Veränderungen kommen. Werden die Spezifikationen jedoch geändert und aus dieser Änderung geht hervor, dass eine schon bereits entwickelte Sondermaschine nicht mehr die vorgesehene Aufgabe erfüllen kann, muss eine Neuentwicklung angesetzt werden. Um eine Neuentwicklung sinnvoll zu gestalten, ist ein Klarstellen der Spezifikationen unausweichlich.

Die Spezifikationen setzten sich aus den unten angeführten Teilen zusammen.

- Umweltbedingungen
- Arbeitsplanung
- Zu verarbeitendes Material
- Automatisierungsgrad der Maschine (Bedienbarkeit)
- Zur Verfügung gestellte Infrastruktur und Betriebsmittel
- Budgetrahmen

3.4 Planen der Neuentwicklungen

Die Initialisierung Projektplanung erfolgte nachdem die Maschine einer vollständigen Inspektion unterzogen, die Umweltbedingungen beobachtet und nachgewiesen und die Anwenderspezifikationen klar aufgestellt waren.

Die qualitative Projektablaufplanung ist der Schlüssel zur erfolgreichen Umsetzung einer Neuentwicklung. Die größte Herausforderung stellt sich dem Planer bei der Festlegung der Termine, vor allem für die endgültige Fertigstellung.

Um die Planung effizient und realitätsbewusst aufsetzen zu können, muss der Planer bzw. Projektleiter über umfangreiches Wissen der geforderten Thematiken verfügen oder durch qualifiziertes erfahrenes Fachpersonal/Spezialisten unterstützt werden.

Der Erfolg eines Projektes ist nur so gut, wie die Qualität des Ergebnisses der Projektplanung.

Primär geht es um das Erkennen der Notwendigkeit Qualität herzustellen. Qualität ist ein umfangreicher Begriff und definiert sich speziell durch das Endprodukt und besonders durch die Zufriedenheit des Kunden.

Folgende Schritte sind bei der Projektablaufplanung zu beachten:

3.4.1 Erstellen eines Arbeitsplanes

Anhand des Arbeitsplans sind die erforderlichen Arbeitsschritte definiert und festgelegt. Der Arbeitsplan gibt vor, welche Änderungen mit welchem Zeitaufwand durchgeführt werden müssen. Bei diesem Projekt dient der Arbeitsplan auch als Lastenheft, welches immer in Absprache mit dem Kunden steht, verwendet

3.4.2 Arbeitsplan mit Mitarbeitern belegen

Nachdem ein Arbeitsplan mittels aller offenen Punkte erstellt worden ist, ist der Plan mit Mitarbeitern zu belegen. Mittels der Zuteilung der Mitarbeiter auf die zu erledigenden Arbeiten werden sogleich Verantwortungsbereiche abgesteckt.

3.4.3 Arbeitsplan mit Zeitlich begrenzen

Da bei Projekten wie diesen ein hoher Zeitdruck besteht, ist es von enormer Bedeutung, den zeitlichen Ablauf klar und realistisch darzustellen. Sogenannte „Zeitpuffer“ sind immer zu berücksichtigen.

3.4.4 Ablauforganisation

Die Ablauforganisation muss klar und deutlich definiert werden. Es werden Kommunikation und Verantwortung in einem Projekt bestimmt. Es gibt viele Arten der Festlegung der Ablauforganisation, welche auf Projektgröße und Projektart abgestimmt werden muss.

Folgendes wird bei der Ablauforganisation festgelegt:

WER Auftragträger (Arbeitsteilung zwischen Auftragträgern)

WOMIT Sachmittel (technische Ausstattung)

WO Ort (Örtliche Aufgabenwahrnehmung)

WANN Zeit (Zeitliche Aufgabenwahrnehmung)

(Goldhahn, 2010)

Am besten geeignet für die Kommunikation und das Abstecken der Verantwortungsbereiche eignet sich das sogenannte Stabliniensystem.

Das Stabliniensystem baut sich hierarchisch auf. Es hat den Vorteil, dass nur eine Person bzw. deren Vertretung alle Projektgeschehnisse verwaltet und steuert.

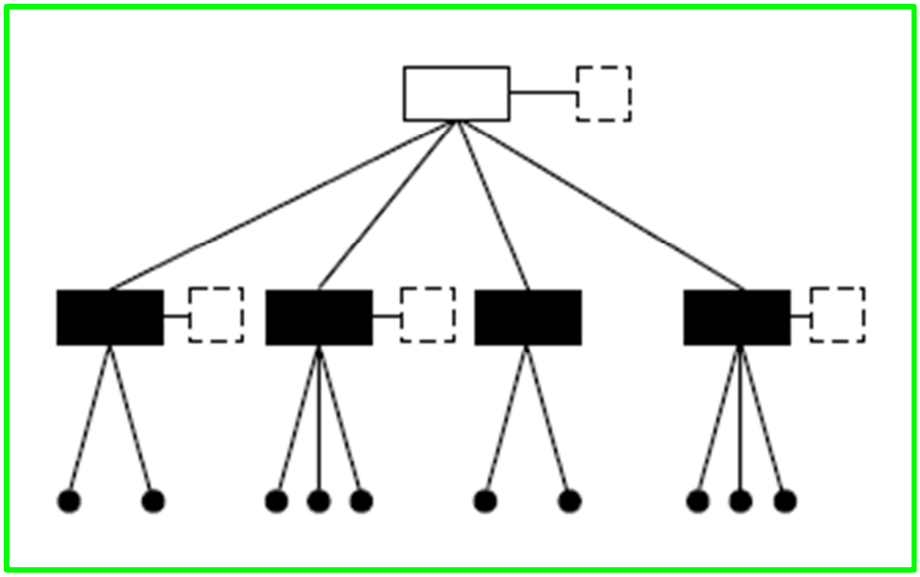


Abbildung 15: Stabliniensystem (Goldhahn, 2010)

3.5 Anpassung der mechanische Bauteile

Änderungen an den mechanischen Bauteilen für die neuentwickelte Maschine wurden an folgenden Komponenten durchgeführt.

3.5.1 Anpassung der Anpressräder

Die FVM ist durch das verwendete Abdichtungssystem und deren Art der Installation einzigartig.

Die Folie - wie in der Einleitung beschrieben - wird mittels eines sogenannten Klettsystems am Gewölbe installiert, um die knapp 450 kg schwere, 3,9 Meter breite und 31 Meter lange Folie an der Tunnelwand zu befestigen.

Anpressräder drücken die Folie an die vorbereitete Tunnelwand um dadurch gleichmäßig die Membrane an den Gewölbeuntergrund anzupressen. Aufgrund der Materialeigenschaften der zu verarbeitenden Folie sind die physikalischen Eigenschaften des Anpressmittels anzupassen. Hierzu sind folgenden Schritte erforderlich.

- Spezifikationen der Folie und der Klett einholen
    - Materialeigenschaften
    - Verarbeitungsmethode
- Technische Spezifikationen von Anpressrädern
    - Art des Reifenprofils
    - Reifendruck
    - Vibrationseigenschaft

Erfolgreiches Verbinden der Kletts zum Vlies an der Folie ist abhängig von dem Zusammenspiel von Vibration, Härte des Rades, dem Anpressdruck der Anpressräder sowie in der Verlegegeschwindigkeit. Diese Eigenschaften sind unter Punkt 3.6 theoretisch am System dargestellt, im praktischen Teil unter Punkt 4.5.1 sind der Messaufbau, die neue Konstruktion der Radaufnahme und der Typ der verwendeten Anpressräder beschrieben.

3.5.2 Anpassung der mechanischen Getriebeeinheiten

Aufgrund der Änderungen am System werden verbesserte Getriebenheiten benötigt. Um die Getriebeeinheiten richtig auszulegen sind Neuberechnungen und mechanische Anpassungen notwendig.

Alle Berechnungen bzgl. der mechanischen Getriebenheiten wurden vom Hersteller der Getriebe durchgeführt und bereitgestellt.

Begriffsbestimmung Getriebe

„Getriebe übertragen die Leistung des Antriebsmotors auf Werkstück- und Werkzeugträger oder bewegliche Teile des Gestells und erteilen ihnen die für die Bearbeitung erforderliche Bewegung.“ (Böge, 1999), Seite 933

Primär wird unterschieden, zwischen einstufigen, stufigen und stufenlosen Getrieben, all diese Getriebe sind für eine translatorische Bewegung ausgelegt.

Für dieses Projekt sind im mechanischen Antriebsbereich nur einstufige Planetengetriebe im Einsatz, welche mittels eines hydraulischen Systems ihre Drehbewegung erfahren.

Die Getriebe werden mittels des benötigten Drehmomentes bestimmt.

3.5.3 Anpassen der Bremsleistung

Um die Sicherheit der Maschine zu erhöhen wird die Bremsleistung und Ansteuerung angepasst.

Eine für den Bergbau bei Förderwagen übliche verwendete Bremsanlage ist eine elektrohydraulische arbeitende Backenbremse ((Böge, 1999)Seite 1238).

Eine abgeänderte Form dieser Bremsanlage findet bei der FVM ihre Verwendung. Die Bremse ist im Stillstand stetig geschlossen, die erforderliche Bremskraft wird mittels einer vorgespannten Feder erreicht.

Um die Bremsleistung zu erhöhen sind Bremskraft F_B, Reibungskoeffizient μ des verwendeten Bremsmaterials und Materials; auf welchem der Bremsvorgang stattfindet, in die Berechnung miteinzubeziehen.

Bedeutend ist, welche Fahrbedingungen die Maschine erfährt.

Die Hauptaufgabe bei der Auslegung der Bremsmittel ist der resultierende Sicherheitsfaktor η. Der Sicherheitsfaktor wird mittels der für die Anwendung notwendigen Sicherheitsbestimmungen bestimmt.

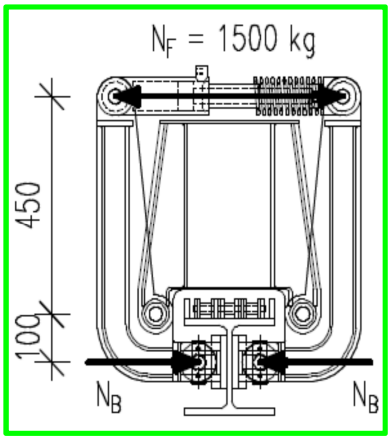


Abbildung 16: Backenbremse FVM (BAYSTAG, 2010)

Der geforderte Sicherheitsfaktor für die FVM liegt bei 1,5 und soll aber auf mindestens 3 erhöht werden.

3.6 Anpassung der pneumatischen Komponenten

Um das Klett wirkungsvoll mit der Folie zu vereinen sind pneumatische Rüttler notwendig. Die Rüttler und deren Aufbau müssen so angepasst sein, dass die Vibrationseigenschaften (siehe Messaufbau 1 Punkt 4.3.1) des Rüttlers das Anpressrad ausreichend zum Schwingen bringen.

Vibrationseigenschaften und in Schwingung zu bringendes System

Das vorhandene, mechanische in Schwingung zu bringende System ist zu prüfen und gegebenenfalls umzukonstruieren. Das zu bewegende System ist theoretisch in Abb. 17 dargestellt.

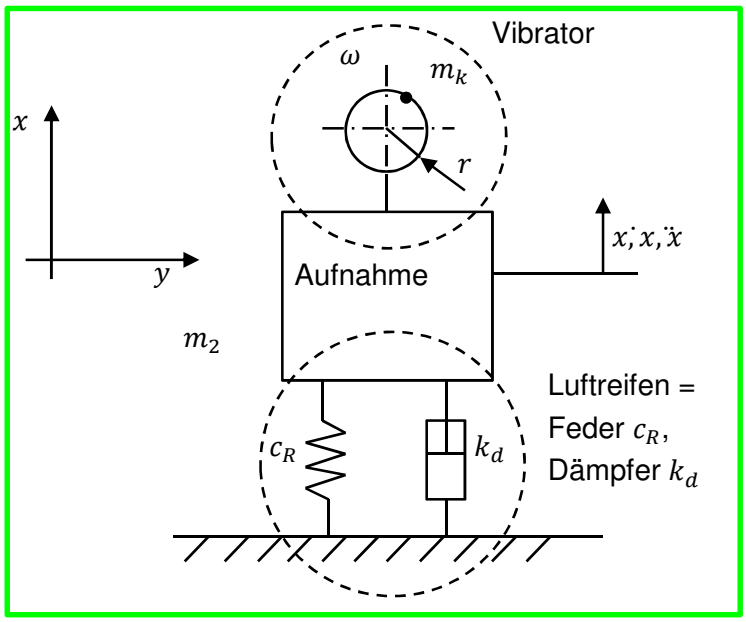


Abbildung 17: Theoretisches Schwingungssystem Rad

Die in Formel 3 angeführte Bewegungsgleichung wird durch die am System angreifenden vertikalen Kräfte aufgestellt. Die Gesamtmasse m_{ges} ergibt sich aus der Masse m_v des Vibrators und der Masse m_A der Aufnahme (die Masse m_v wird vom hydraulischen Anpressdruck beeinflusst). Die Masse m_v, die Zentrifugalkraft F_Z, die Frequenz f und die daraus folgenden Erregerkreisfrequenz ω sind vom Hersteller des Vibrators vorgegeben. Die sich vom Rad ergebenden Federkonstante $c_p$und die Dämpfungskonstante k_d sind nicht bekannt.

$$m_{ges}\ddot{x} + k_d\dot{x} + c_p x - F_Z * \cos(\omega * t) = 0$$

Formel 1: Bewegungsgleichung für das Beispiel in Abb. 24

$$F_Z = m_v * \omega^2 * r\ [N]$$

Formel 2: Zentrifugalkraft F_Z

$$\omega = 2 * \pi * f$$

Formel 3: Winkelgeschwindigkeit ω

Über den Hubweg des Kolbens wird der Radius r für das System bestimmt.

$$a_Z = \omega^2 * r \; [m/s^2]$$

Formel 4: Zentrifugalbeschleunigung a_Z

Ist die Beschleunigung des Systems bekannt kann somit die Gravitationskraft am System g_{system}errechnet werden.

$$g_{system} = \frac{a_z}{g} \; [m/s^2]$$

Formel 5: Gravitationskräfte am System g_{system}

Aufgrund der Anpassung der Rüttler muss auch die Kompressorleistung für die Bereitstellung der Druckluft neu dimensioniert werden.

Berechnung Kompressorleistung $P_{i,istr}$

Die Berechnung eines Luftkompressor erfolgt in diesem Falle isentrop, da keine Wärme zu- oder abgeführt wird.

Bei Luft wird der Verdichtungsexponent κ mit 1,4 angegeben und die spezifische Gaskonstante R mit 287 Nm/kg K.

$$\dot{m} = \frac{p_1 * V_1}{R * T_1} \; [kg/h]$$

Formel 6: Berechnung der Luftmassenstrom $\dot{m}$ (Berties, 2007) Seite 106

$$v = \frac{Q}{A} \; [m/s]$$

Formel 7: Strömungsgeschwindigkeit v

$$W_{i,istr} = \frac{\kappa}{\kappa\text{-}1} * p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa\text{-}1}{\kappa}} - 1 \right] \; [Ws]$$

Formel 8: Raumänderungsarbeit $W_{i,istr}$ (Berties, 2007)Seite 102

$$P_{i,istr} = \dot{V} * W_{i,\frac{istr}{m^3}} \; [kW]$$

Formel 9: Leistung Luftkompressor $P_{i,istr}$ (Berties, 2007) Seite 103

3.7 Anpassung der hydraulischen Komponenten

Die Hydraulik ist ein wesentlicher Bestandteil der Steuerung der FVM. Durch die Anpassung der mechanischen Systeme müssen hydraulische Komponenten nachgerechnet und neu eingestellt werden. Bei der FVM werden alle Arbeitsbewegungen mittels hydraulischen Zylindern oder Motoren bewegt. Für die Energieversorgung stehen zwei Hydraulikaggregate zur Verfügung.

In der Hydraulik wird primär zwischen offenen und geschlossenen Kreisläufen differenziert. Ob ein geschlossener Kreislauf oder ein offener verwendet wird, hängt von den Einsatzbedingungen ab.

Da die Maschine bereits gebaut wurde und es sich bei der Neuentwicklung im Bereich der hydraulischen Betriebsmittel um Modifikationen handelt, sind Arbeitszylinder, Ventile oder Schlauchdimensionierungen nicht in die unten angeführten theoretischen Ausarbeitungen der hydraulischen Betriebsmittel am Folienverleger einbezogen.

3.7.1 Hydrostatische Pumpen

Um die geforderte Leistung der FVM zu erbringen, sind die vorhandenen hydraulischen Pumpelemente anzupassen. Definition für hydraulische Pumpen siehe Anlage Teil 1.
Für die FVM werden folgende Pumpenarten verwendet

3.7.1.1 Außenzahnradpumpe

Die Außenzahnradpumpe ist bei der FVM für den Antrieb des Kühlermotors verantwortlich und ist vom Aufbau her die einfachste Pumpenart. Das in einer Zahnlücke eingeschlossene Flüssigkeitsvolumen wird durch die Drehung des Rades von der Saugseite S auf die Druckseite D gefördert, an der Eingriffsstelle der Räder verdrängt und in den Druckanschluss gepresst. Der Druckanstieg von S nach D kann vereinfacht linear angenommen werden. Die Folgen dieser Druckverteilung ist eine hohe Wellen- und Lagerbelastung. Das geometrische Verdrängungsvolumen *Vg* ist konstant. Bei einer Pumpe mit unkorrigierter gerader Stirnverzahnung ist das Volumen einer Zahnlücke näherungsweise

$$V_0 = \frac{\pi * d * m * b}{z} = [cm^3]$$

Formel 10: Volumen Außenzahnradpumpe V_0

$$V_G = 2 * z * V_0 \approx 2 * \pi * d * m * b = [cm^3]$$

Formel 11: Verdrängungsvolumen Außenzahnradpumpe V_G

Es bedeutet: d = Teilkreisdurchmesser des angetriebenen Rades, m = Modul
z = Zähnezahl des angetrieben Rades, b = Zahnbreite
(Bauer, 2009) Seite 82, 83

3.7.1.2 Axialkolbenpumpe

Die bei der FVM eingesetzte Axialkolbenpumpen (pro Aggregat 1 Pumpe) versorgen die gesamte Anlage mit hydraulischer Energie und sind mit einer „Load-Sensing“ Steuerungssystem ausgestattet. Axialkolbenpumpen haben den Vorteil dass sie mit weit höheren Drücken wie Zahnradpumpen arbeiten können und die Fördermenge je nach Art und Auslegung sehr präzise gesteuert werden kann. Für weitere Beschreibung siehe Anlage Teil 1.

3.7.1.3 Berechnungsgrundlagen von Pumpen

Es bedeutet: V = Fördervolumen, p = Betriebsdruck, η_{mh} = hydro-mechanischer Wirkungsgrad, η_{ges} = Gesamtwirkungsgrad der Pumpe, η_{vol} = volumetrischer Wirkungsgrad, n = Drehzahl.

$$M = \frac{V * p}{2\pi * \eta_{mh} * 10} = [Nm]$$

Formel 12: Drehmoment Pumpen M

$$Pzu = \frac{p * Q}{612 * \eta_{ges}} \; [kW]$$

Formel 13: Berechnung zugeführte Motorleistung P_{zu}

$$Q = \frac{V * n * \eta_{vol}}{1000} \; [l/min]$$

Formel 14: Fördermenge Pumpen Q

3.7.2 Hydraulische Motoren

Bei der FVM finden sogenannte Gerotormotoren bei der FVM ihre Anwendung. Für Definition siehe Anlage Teil 1.

<u>Berechnungsgrundlagen Hydraulikmotor</u>

Wie bei den Pumpen treten ebenfalls bei Motoren Verlustleistungen auf. Die Ursachen der Verluste sind die gleichen wie bei den Pumpen = Leck- bzw. Volumenverluste.

Es bedeutet: M_{th} = theoretische Moment, V_{tho} = theoretisches Fördervolumen, Q_{th} = theoretische Schluckmenge, η_{vol} = volumetrischer Wirkungsgrad, n = Drehzahl, Δp = Druckgefälle, α = Volumeneinstellung, ω = Winkelgeschwindigkeit

$$M_{abgef} = M_{th} - M_V = [Nm]$$

Formel 15: effektiv abgeführtes Drehmoment M_{abgef} (Bauer, 2009) Seite 119

$$\eta_{mh} = 1 - \frac{M_V}{M_{th}}$$

Formel 16: mechanisch hydraulischer Wirkungsgrad η_{mh} (Bauer, 2009) Seite 119

$$Q_e = \frac{Q_{th}}{\eta_{vol}} = \frac{n * \alpha * V_{tho}}{\eta_{vol}} = [l/min]$$

Formel 17: Effektiver Schluckstrom Q_e (Bauer, 2009) Seite 120

$$M_{ab} = M_{th} * \eta_{mh} = \frac{\Delta p * \alpha * V_{tho}}{2\pi} = [Nm]$$

Formel 18: Abgegebenes Drehmoment M_{ab} (Bauer, 2009) Seite 120

$$P_{zu} = Q_e * \Delta p = \frac{\omega * M_{ab}}{\eta_t} = \frac{\Delta p * Q_{th}}{\eta_{vol}} = [W]$$

Formel 19: zugeführte Leistung P_{zu} (Bauer, 2009) Seite 120

3.7.3 Hydraulische Kühlung

Gerade bei einer Anlage wie der FVM ist eine konstante Öltemperatur sehr wichtig, da sich mit steigender bzw. fallender Öltemperatur die Effektivität der anzusteuernden hydraulischen Betriebsmittel ändert. Jedes zu steuernde Druckbegrenzungsventil oder Schaltventil erfährt durch Änderung in der Temperatur unterschiedliche Leistungsmerkmale. Speziell Proportionalventile müssen durch das Einstellen der sogenannten Nullpunktkompensation (bestimmt den Regelbeginn) bei vorgegebener Betriebstemperatur für die Anwendung eingestellt werden. Weiteres werden Sensoren und Betriebsmittel bei zu hohen Betriebstemperaturen beschädigt.

Verwendetes Ölkühlsystem bei der FVM

Die Ölkühlung erfolgt bei der Maschine durch eine Luftkühlung. Diese arbeitet mit einem Zusammenspiel der benetzten Fläche des Öltanks und eines zusätzlichen luftgekühlten Ölkühlers. Für die Auslegung und Berechnung eines Kühlsystems siehe Anlage Teil 1.

3.7.4 Hydrostatische Getriebe

Da sich durch die Modifikationen unter anderem auch die Geschwindigkeitsanpassung ändert, wird auf die Thematik hydrostatischer Getriebe eingegangen.

Schlussendlich sind alle oben angeführten hydraulischen Berechnungen und Erklärungen die Grundlage für das hydrostatische Getriebe. Bei hydrostatischen Getrieben wird prinzipiell zwischen einem offenen und einem geschlossenem Kreislauf unterschieden.

Die Folienverlegemaschine ist aufgrund des Aufbaus und der Verwendung mit einem offenen Kreislauf ausgestattet.

3.7.4.1 Leistungs-Momentenberechnung

Mittels der Leistungs- und Momentenberechnung werden die Leistungsdaten der FVM für den Verfahrvorgang der Erektoren berechnet. Die unten angeführten Berechnungen werden mit dem maximal verfügbaren Volumen der Komponenten durchgeführt.

Es bedeutet: $V_{tho1/2}$ = theoretisches Fördervolumen, $\eta_{vol1/2}$ = volumetrischer Wirkungsgrad, $n_{1/2}$ = Drehzahl, $\alpha_{1/2}$ = Volumeneinstellung

$$Q_e = n_1 * \alpha_1 * V_{tho1} * \eta_{vol1} = \frac{n_2 * \alpha_2 * V_{tho2}}{\eta_{vol2}} = [l/min]$$

Formel 20: Gleichsetzung der Ölströme Pumpen zu Motoren Q_e (Bauer, 2009) Seite 203

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\alpha_1 * V_{tho1}}{\alpha_2 * V_{tho2}} * \eta_{vol1} * \eta_{vol2}$$

Formel 21: Drezahlübersetzung $\frac{n_2}{n_1}$ (Bauer, 2009) Seite 203

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{\alpha_2 * V_{tho2}}{\alpha_1 * V_{tho1}} * \eta_{mh1} * \eta_{mh2} = [Nm]$$

Formel 22: Drehmomentenübersetzung hydr. Getriebe $\frac{M_2}{M_1}$ (Bauer, 2009) Seite 203

3.7.4.2 Einstellung der Pumpensteuerung der FVM

Die Pumpensteuerung erfolgt mittels einer durch eine Blende konstant geschalteten „*Load-Sensing*“ Steuerung (LS-Steuerung). Eine LS-Steuerung - auch Bedarfssteuerung genannt - ist eine Art den Schenkwinkel und somit auch die Fördermenge einer Pumpe nach Bedarf regeln. Das Prinzip der LS-Steuerung ist sehr einfach, Das LS-Ventil (siehe Pos. 3 Abb. 18) wird mittels einer Steuerleitung, welche im Druckkanal angeschlossen ist mit Druck beaufschlagt. Bei Pumpen, welche eine LS-Steuerung integriert haben, steht der Schwenkwinkel der Wiege immer auf maximalen Steuerwinkel (Schwenkwinkel max. = größtes mögliches Fördervolumen). Wird die Pumpe angetrieben und keine Funktion am hydraulischen System betätigt, so erfährt das LS-Ventil den vollen Steuerdruck um die minimale Verstellung der Pumpe herzustellen, somit wird nur eine minimale Menge und nur ein sehr geringer Druck von der Pumpe erzeugt. Wird eine Funktion im hydraulischen System geschalten, erfährt die Lastdruckmeldeleitung (siehe Abb. 18) den gleichen Druck wie die Druckleitung vor der Schaltung und ist durch die zusätzliche Feder am Ventil höher wie der Druck der Lastmeldeleitung. Dies hat zur Folge, dass die Wiege der Pumpe so lange in Richtung des maximalen Schwenkwinkels schwenkt bis der Druckbedarf gesättigt ist oder der eingestellte Druck am Druckbegrenzungsventil (Pos. 4 Abb. 18) erreicht wird. Das LS-Ventil liegt in einem ständigen Spiel des geförderten und zu dem angeforderten Druck im System.

Eine LS Steuerung macht bei Maschinen nur Sinn, wenn die anzusteuernden Betriebsmittel nicht ständig unter Volllast arbeiten.

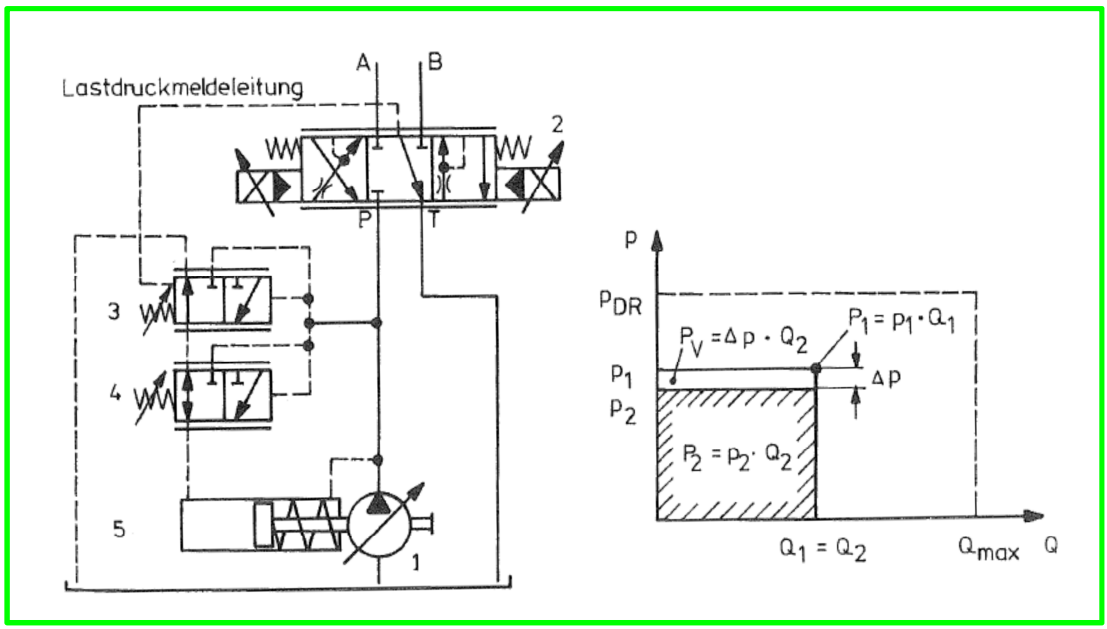


Abbildung 18: Pumpensteuerung (Bauer, 2009)Seite 213

3.8 Anpassung der elektrischen Komponenten

Da die Hydraulikaggregate der FVM nicht mit einer Verbrennungsmaschine wie z.B. einem Dieselaggregat mit mechanischer Leistung beaufschlagt ist, sondern die Leistungszufuhr über Elektromotoren erfolgt, sind ebenfalls die Elektromotoren und deren Schalt- und Sicherungskomponenten anzupassen.

Die durch unter Formel 13: Berechnung zugeführte Motorleistung, beschriebenen angetriebenen Pumpenelemente bestimmen die Leistung, welche dem System zugeführt werden muss, um dieses ausreichend mit Energie zu versorgen.

Für die FVM wirkt als Antriebsmittel der Pumpen ein Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer für Konstantantrieb. Für weitere Informationen siehe Anlage, Teil 2.

Die Wirkleistung P eines Asynchronmotors ist abhängig von dem Effektivwert der Ständerspannung U_s, dem Effektivwert des Ständerstroms I_s und dem Leistungsfaktor $cos\varphi$.

$$P = \sqrt{3} * U_s * I_s * cos\varphi$$

Formel 23: Wirkleistung Asynchronmotor

Leistung zur Pumpe mit Wirkungsgrad

Bei größere Belastung und somit zunehmende Schlupf s nähert sich der Ständerstromzeiger $i_s$auf dem Heyland-Osanna-Kreis Richtung u_s und somit nimmt der Leistungsfaktor $cos\varphi$ ab wird dann aber wieder größer ((Weidauer, 2011) Seite 75).

Der am Typenschild angegebene Leistungsfaktor $cos\varphi$ ist jener welcher durch den markierten Nennschlupf s_n hervorgeht.

„Der Arbeitsbereich des Asynchronmotors liegt für die Drehzahl n im Bereich der Nenndrehzahl n_N und für den Ständerstrom I_s im Bereich zwischen I_0 und I_N (Abb. 19). Der generatorische Arbeitsbereich, der für $n > n_d$ oder $n < 0$ erreicht wird, tritt, von speziellen Bremsschaltung abgesehen, nicht in Erscheinung.

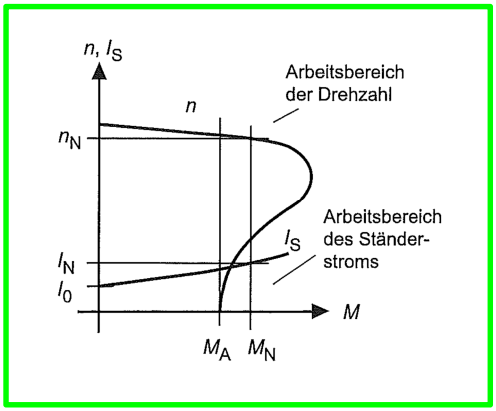


Abbildung 19: Arbeitsbereiche Betrieb Asynchronmotor

Der Arbeitspunkt wird vom aktuellen auftretenden Lastmoment und damit von der Arbeitsmaschine bestimmt. Der Motor muss deshalb auf die Arbeitsmaschine abgestimmt werden. Trotzdem ist nicht sichergestellt, dass die Arbeitsmaschine den Motor nicht überlastet. Treten z.B. mechanische Blockierungen in der Maschine auf, wird der Motor bis auf den Stillstand abgebremst und es fließt der sehr große Anlaufstrom I_A. Aufgrund der fehlenden Kühlung erhitzt sich der Motor sehr schnell, was bis zum Abbrennen führen kann.“ ((Weidauer, 2011) Seite 80)

Gerade bei Maschinen wie der FVM werden aufgrund der hydraulischen Getriebe hohe Leistungsbereich vom Antriebsmotor abverlangt und bei einem Ausfall einer Hydraulikpumpe kann genau der Fall eintreten, dass durch falsche Einstellungen der Pumpe oder einen Schaden an der Pumpe dem Motor zu viel Leistung abverlangt oder jener sogar blockiert wird. Weiteres sind die Umweltbedingung nicht außer Acht zu lassen, durch starke Verschmutzung der Motoren wird die Kühlleistung ebenfalls stark beeinträchtigt. Auf Baustellen kann zusätzlich der vorhanden sogenannte Baustrom instabil sein und es können Asymmetrien der Spannungen der einzelnen Phasen auftreten.

Um den Motor vor den der oben angeführte Fehler bestmöglich zu schützen, werden Sicherungsmaßnahmen festgelegt.

Überlast und Kurzschluss

Um den Motor gegen Überlast zu schützen werden Motorschutzschalter vorgeschaltet. Motorschutzschalter haben eine zeitabhängige Abschaltkennlinie (siehe Abb. 20). Jene haben den Vorteil, kurzzeitig die hohen Anlaufströme und für unbegrenzte Zeit den Nennstrom zuzulassen. Wird der Motor über längere Zeit überlastet oder erfahren die Wicklungen einen Kurzschluss, trennt der in Abb. 20 abgebildete Motorschutzschalter den Motor vom Netz (Weidauer, 2011). Einfache Motorschutzschalter schützen nicht bei Kurzschluss. Bei Schalt- und Schutzgeräten sollte der Kondensatorbemessungsstrom bei nur 75% dem für den Schütz zulässigen Strom liegen. Wird das Schalt- oder Schutzgerät maximal ausgereizt besteht die Gefahr das Gerät zu überhitzen, was ein ungewolltes auslösen des Gerätes hervorruft. (Siemens, 1997) Seite 225

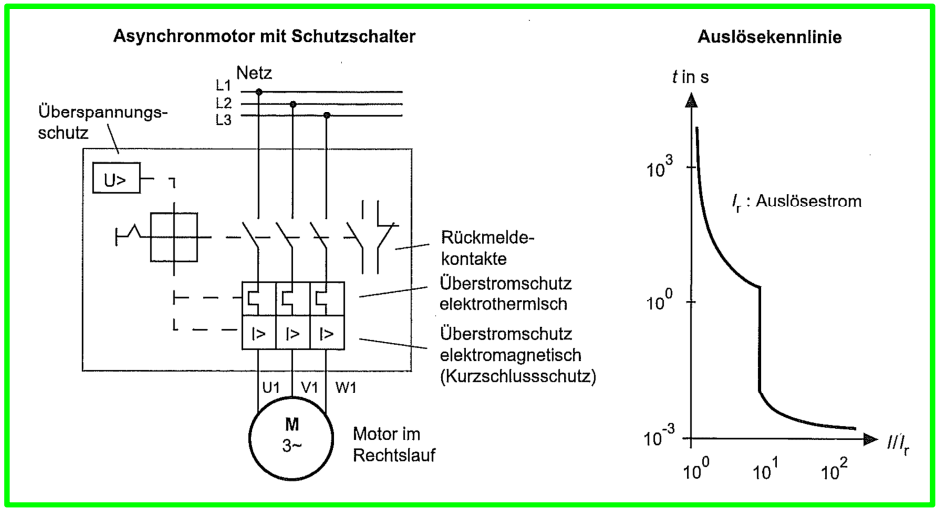


Abbildung 20: Schutzmechanismus und Auslösekennlinie Schutzschalter (Weidauer, 2011) Seite 80

Anlauf des Asynchronmotors

Werden Asynchronmotoren wie bei der FVM für den Antrieb des hydraulischen Getriebes verwendet ist der Anlauf des Motors richtig zu starten, speziell wenn Änderungen in der Ansteuerung der Pumpen gemacht werden. Bei der FVM ist ein Sanftanlasser im Einsatz. Definition Sanftanlasser siehe Anlage Teil 2.

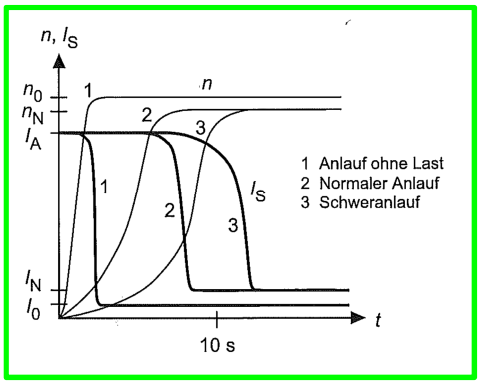


Abbildung 21: Anlaufverhalten Asynchronmotor (Weidauer, 2011) Seite 81

3.9 Anpassung und Steuerung der Komponenten mit Hilfe von elektronischen Messmitteln

Um die Tauglichkeit der oben angeführten Berechnungen in der Praxis zu beweisen und Versuche, welche bei der Berechnung für diese Arbeit zu aufwändig wären, darzustellen, werden integrierte und externe Messmittel zur Auswertung, Einstellungsarbeiten und Steuerung der Maschine verwendet.

Aufbau von Messketten

das Prinzip einer Messkette ist immer gleich aufgebaut und besteht aus

- Messaufnehmer (Sensor)
- Messwerk (Mess-Frontend)
- Anzeige (Analysesoftware)

Im Falle der FVM werden Sensoren verwendet, welche sowohl als Messaufnehmer wie auch als Messwerk dienen. Für die Anzeige bzw. Verarbeitung der Messdaten werden zusätzliche Auswertegeräte oder die vorhanden SPS genutzt.

3.9.1 Integrierte Messmittel

Wie schon in der Einleitung des theoretischen Teils beschrieben, ist eine der hauptsächlichen Herausforderungen, die schon vorhandenen Messmittel für die Auswertung und Steuerung der Maschine anzuwenden. Zur Verfügung steht eine SPS, welche, um die Messmittel richtig einzusetzen, umprogrammiert bzw. neu programmiert werden muss. Gerade bei Messsystemen, welche individuell an einer Anlage verbaut sind und in Steuerungsverfahren integriert werden, ist es notwendig die Sensorik und deren Schnittstelle zu verstehen um jene effizient zu implementieren

3.9.1.1 Wegmessung für den Abstand des Radbalkens zur Tunnelwand

Da das Gewölbe eine Oberflächentoleranz von bis zu 30 cm auf eine Länge von 4 m hat, muss die FVM fähig sein, diese Toleranzen mit dem Radbalken, auf welche die Anpressräder mit hydraulischem Doppelpendelsystem montiert sind, den Konturen anzupassen. Hierfür ist eine Abstandsmessung erforderlich. Die vorhandenen Messmittel sind Ultraschallsensoren und Induktivsensoren.

Ultraschallsensoren

Die Wegmessung mittels Ultraschallsensoren wird mittels der Laufzeit der Ultraschallimpulse gemessen. Die Entfernung zu dem zu messenden Objekt reflektiert die hochfrequenten Schwingungen und wird vom Sensor mittels der Verformung von piezoelektrischen Elementen ausgewertet. Die Frequenzen befinden sich in einem Bereich von 20-

200 kHz. Der Vorteil des piezoelektrischen Effekts liegt darin, dass er umkehrbar ist und somit das Wandlerelement sich zum Senden wie zum Empfangen eignet.

Die Intensität des Schallfeldes eines Ultraschallsensors ist in Buch (Bodo Heimann, 2007) Seite 90 dargestellt. Daraus lässt sich erkennen, dass der Ultraschallsensor Kegelförmig den Messbereich ausfüllt, was dazu führt, dass darauf geachtet werden muss wie groß das zu messenden Objekt ist und dass das Objekt sich in dem zu messenden Bereich in der Symmetrieachse befinden.

Bei der Verwendung von Ultraschallsensoren sind die Messgenauigkeit und der Messerfolg von den Umgebungsparametern, der richtigen Wahl der Frequenz und die Geometrie des Reflektors abhängig.

- Umgebungsparameter werden nach dem bekannten Wellengesetz ermittelt. Der Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit v, der Wellenlänge λ und der Frequenz f beträgt

$$v = \lambda * f$$

Formel 24: Wellengesetz

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist auch noch stark von der Temperatur abhängig, sollten große Temperaturunterschied auftreten sind Sensoren mit integrierten Temperatursensor anzuschaffen, denn jene könne Temperaturunterschiede kompensieren und somit ein stabiles Messbild abgeben.

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Formel 25: Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Temperatur

(Bodo Heimann, 2007) Seite 91

- Die Frequenz ist abhängig von der Entfernung des zu messenden Objektes, je weiter die zu messende Wegstrecke ist, desto kleiner ist die Frequenz zu wählen und wird vom Hersteller vorgegeben.

- Die Reflexionseigenschaften der zu messenden Objekte sind für die Abstandsmessung entscheidend, deshalb muss der Reflexionsfaktor R über den Wellenwiderstand W abhängig von der Dichte ρ und der Schallgeschwindigkeit c, des Mediums bestimmt werden.

$$W = \rho * c$$

Formel 26: Wellenwiderstand

$$R = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1}$$

Formel 27: Reflexionsfaktor

Informationen für Ultraschallsensoren von (Bodo Heimann, 2007) Seite 89-92

Induktives Näherungssensoren

Induktive Näherungsensoren wurden ursprünglich nur für eine Überwachungsfunktion der Kettenspannung an der Maschine verwendet. Induktive Näherungsensoren haben den Vorteil, dass sie in der Anschaffung günstig sind und unabhängig von Störquellen wie Verschmutzung, Temperaturunterschiede oder Luftfeuchtigkeit sind. Nachteilig ist, dass das zu messende Medium in nur kurzer Distanz vom Sensor entfernt sein darf. Je nach Hersteller liegt der zu messende Abstand bei geläufigen Sensoren >1cm.

Induktive Verfahren nutzen die Beeinflussung der magnetischen Induktivität L in einer Spule durch Bewegung eines ferromagnetischen Körpers in deren Magnetfeld zur Messung aus. Bei einem Drosselsystem (Abb.22) ändert sich die Selbstinduktivität L durch Variationen des Luftspalts κ bzw. durch Bewegung ξ eines weichmagnetischen Kerns in der Spule (so genannte Tauchkernsysteme). Für den Kern mit Luftspalt gilt

$$L(\kappa) = L_0 * \frac{1}{1 + \mu_r \frac{\kappa}{\kappa_m}}$$

Formel 28: Luftspalt Kern Induktivsensor

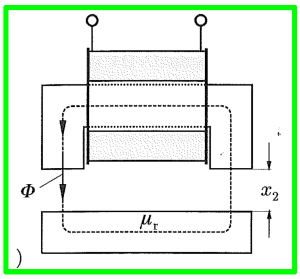


Abbildung 22: Einfache Drossel Induktivsensor

Verarbeitung der Messinformationen

Der Ultraschalsensor besitzt einen 4-20 mA Ausgang, welcher mittels einer Analogbaugruppe in die SPS (Speicher-Programmierbare-Steuerung) ausgewertet und mittels eines eigens geschriebenen Programmbausteins im Programm verarbeitet wird.

Die Induktivsensoren werden mit aus Metall bestehenden Steuerfahnen geschalten und geben an eine Digitalbaugruppe ein 24 VDC+ geschaltetem Signal weiter.

3.9.1.2 Wegmessung an den Hydraulikmotoren der beiden Erektoren

Beide Erektoren, Haupterektor und Seitenerektor, werden mittels Hydraulikmotoren auf einem Kettenzug bewegt. Da aufgrund der hydraulischen Auslegung die Erektoren nicht eindeutig parallel verfahren können, sind auf der vorderen und hinteren Seite des Erektors an jeweils einem Motor Absolutwertdrehgeber angebracht. Mittels der Drehgeber wird der Gleichlauf der Erektoren gewährleistet und eine Bruchsicherung realisiert. Die Absolutwertgeber und die Gleichlaufsteuerungsmodule sind zwar schon vorhanden, müssen aber erst in die Steuerung implementiert werden.

Absolutwertgeber

Bei Absolutwertgebern (oder auch „Resolver“ genannt) unterscheidet man zwischen „optischen Resolvern“ und „induktiven Resolvern“. Bei der FVM finden „induktive Resolver“ für die Positionsbestimmung der Erektoren ihre Anwendung.

Absolutwertgeber haben den Vorteil, dass sie selbst wenn sie stromlos geschaltet werden, nach Wiederanlauf ihre Position kennen. Der Vorteil der induktiven Resolvern gegenüber der optischen Resolvern liegt darin, dass sie auf Umgebungseinflüsse wie Vibrationen, Stoß und Schmutz sehr widerstandsfähig sind.

Induktive Resolver funktionieren nach demselben Prinzip wie induktive Näherungssensoren (siehe Seite 69) mit dem Unterschied, dass die Auswerteelektronik aufwendiger gestaltet ist und das gemessene Medium sich im Sensor befindet. „Induktive Resolver werten die Phasenlage zwischen einem Erregerfeld (Stator) und einem mehreren induzierten Feldern (Rotorwicklungen) zur Bestimmung des Drehwinkels zwischen Stator und Rotor aus. Eine nachgeschaltete Elektronik führt eine Interpolation der Phasenwinkel durch“((Bodo Heimann, 2007) Seite 94).

Eine weitaus fortschrittlichere Variante von induktiven Resolvern ist bei der FVM angewandt. Bei dem angewandten Resolver ist lediglich ein Magnet an einer Welle (Stator) und anstatt der Rotorwicklung wird eine Magnetfeldsensor in Chip Form verwendet. In diesem Falle agiert der Chip auch als elektronisches Getriebe.

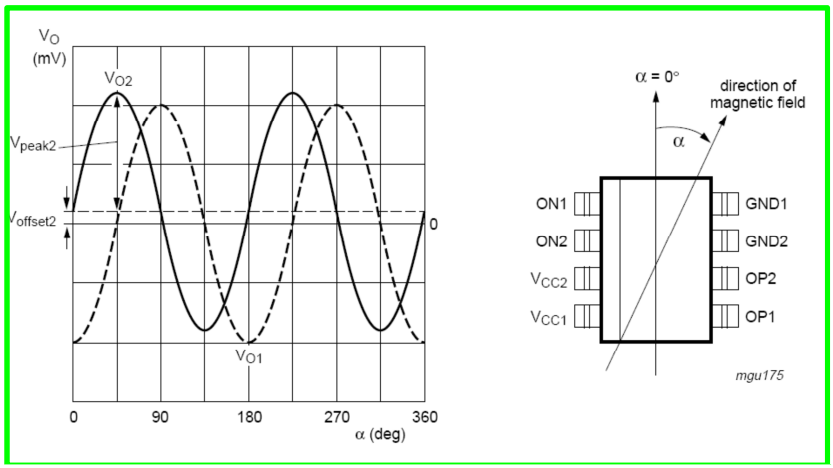


Abbildung 23: Ausgangssignal des magnetischen Feldes (NXP, 2009)

Abbildung 24: magnetischer Sensor (Ineltek, 2012)

Magnetische Drehgeber gibt es mit der Funktion „Singleturn“ und „Multiturn“. Singleturn Resolver können aufgrund ihres Aufbaus nur einen Winkel von 360°= 1 Umdrehung erkennen und sind nach der vollen Umdrehung wieder auf null gesetzt. Sind von Singleturn Resolvern mehrere Umdrehungen zu messen, werden jene mittels eines elektronischen Zählers gezählt und ausgewertet. Multiturn Resolver haben ein zusätzliches Getriebe welches die genaue Umdrehungszahl bestimmt. Auch im stromlosen Zustand zugeführte Veränderungen der Position werden erkannt. Der angewendete Drehgeber bei der FVM ist ein Resolver mit der Funktion Multiturn und hat ein elektronisches Getriebe (siehe Abb. 24). Um auch Änderungen der Position im stromlosen Zustand zu erkennen, ist der Drehgeber mit einer Batterie ausgestattet (19 Jahre Laufzeit).

Für die Codierung von Absolutwertgebern wird neben dem *„Binärcode“* auch häufig *„Graycode“* verwendet. Definition siehe Anlage Teil 3.

Verarbeitung der Messwerte

Wie schon beschrieben sind an jedem Erektor jeweils an den vorderen und hinteren Hydraulikmotoren Absolutwertgeber installiert. Die Sensoren sind durch einen speziellen Adapter an den Motoren angeflanscht. Die Messwerte der Drehgeber werden mittels einer SSI Schnittstelle von einem Gleichlaufsteuerungsmodul ausgewertet und verarbeitet. Jeder Erektor hat ein Gleichlaufsteuerungsmodul. Das Auswertemodul wird mit 24 VDC versorgt und von der SPS Steuerung über Digitale Ein- und Ausgänge beschaltet und überwacht.

Das SSI Datenprotokoll bei Absolutwertgebern ist mit 25 Bit standardisiert, falls nicht, sollte dies vom Hersteller angegeben sein. (Heidenhain, 2012)

SSI – *„Synchronous Serial Interface“* = Synchron serielle Schnittstelle

Berechnen der Inkremente pro mm am Sensor

Um die Sensoren richtig zu verwenden, sind jene richtig auszulegen. Für die Anwendung an der FVM ist der Verfahrweg des Ritzels pro Umdrehung des Getriebes zu bestimmen s_{Ritzel}. Die Getriebedrehzahl $n_{Getriebe}$ ist zu ermitteln um schlussendlich den Verfahrweg des Motor = Sensor s_{Motor} zu bestimmen.

$$s_{Motor} = s_{Ritzel} * n_{Getrieb} = [mm]$$

Formel 29: Verfahrweg Motor = Sensor pro Umdrehung

Mit dem Verfahrweg s_{Motor} pro Umdrehung können nun über die maximale Auflösung des Sensors R_{Sensor} die Inkremente pro mm I_{Sensor} bestimmt werden.

$$I_{Sensor} = \frac{R_{Sensor}}{s_{Motor}} = [ink/mm]$$

Formel 30: Inkremente pro mm

3.9.1.3 Piezoelektrische hydraulische Druckmesssensoren

Um die Hydraulikdrücke an der Maschine zu erfassen sind hydraulische Drucksensoren im Einsatz. Die Druckmessungen werden zur Erleichterung der Fehlersuche und zur Steuerung der Folienabrollung verwendet.

Piezoelektrische Drucksensoren sind eine der wichtigsten und vermutlich weitest verbreitenden Drucksensoren. Bei dem „piezoelektrischen Effekt“ erfahren Kristalle, mit einer im unbelasteten Zustand nach außen neutralen Dipolstruktur, unter Belastung eine Verformung, so dass an den Außenflächen des Kristalles eine Ladungsdifferenz entsteht. Die veränderte Ladungsdifferenz bei Einwirkung von Kraft wandelt die Auswertelektronik in eine Ausgangsspannung oder Ausgangsstrom um. In Buch (Bodo Heimann, 2007) auf Seite 98 ist das Modell des longitudinalen piezoelektrischen Effekts dargestellt. Bild a.) beschreibt den unbelasteten und Punkt b.) den belasteten Zustand.

Verarbeitung der Messwerte

In diesem Projekt werden Drucksensoren mit der 4-20 mA Ausgängen verwendet. Die ausgewertet Stromdifferenz wird mittels einer analogen SPS-Baugruppe erfasst um die Messwerte anschließend im Programm anzuwenden.

3.9.1.4 Füllstand und Temperaturmessung

Um den Füllstand und die Temperatur des Hydrauliktanks zu messen wird bei der FVM ein kombinierter Niveau- Temperaturschalter verwendet. Diese Messeinrichtung ist sehr einfach aufgebaut. Der Niveauschalter ist lediglich ein Messingstab (nicht magnetisch), welcher einen durch Distanzscheiben einstellbaren Kunststoffschwimmer mit einem eingebauten Magneten führt. Gleitet der Schwimmer aufgrund geringen Ölstandes unter das eingestellte Niveau wird ein elektrischer Kontakt geschaltet. Der integrierte Temperaturschalter befindet sich am Ende des Niveaugebers und ist ein simples Bimetalblatt, welches beim Erreichen der maximalen Temperatur ebenfalls einen Kontakt schaltet.

Die DIN 24346 fordert für Hydrauliksysteme die elektrische Überwachung des Niveaus.

3.9.1.5 Messung der Betriebsspannung der Steuerung

Die Spannung für die Steuerungsmodule der Maschine wird durch drei 24 VDC-Netzgeräte mit je 20 Ampere zur Verfügung gestellt. Die Überwachung der Steuerung ist sehr hilfreich bei der Fehlersuche. Da an der Maschine noch Analogeingänge frei sind, können diese für eine sehr günstige Lösung der Spannungsmessung genutzt werden. Die vorhandenen Analogeingänge können aber nur 0-10 VDC erfassen. Um den Bereich von Gesamtspannungsbereich 24 VDC U_{ges} in einen Teilspannungsbereich von 0-10 VDC U_{20} zu implementieren eignet sich ein einfacher „unbelasteter Spannungsteiler“. Der unbelastete Spannungsteiler wird mittels zwei in Reihe geschalteten Wiederständen umgesetzt.

3.9.2 Verwendung von externen Messgeräten

Um die hydraulischen, elektrischen, elektronischen und mechanischen Einstellungen bzw. Anpassungen an der Maschine durchzuführen, werden externe Messgeräte hinzugefügt. Im Gegensatz zu den integrierten Messsystemen gilt es bei der Anwendung von externen Messgeräten in dieser Arbeit nicht darum Messmittel und deren Schnittstellen detailliert zu beschreiben. Jene Messmittel verfügen bereits über ein Auswertmodul und die notwendige Visualisierungssoftware. Bei den aufgeführten Messmittel sind lediglich die Spezifikationen des Messmittels am Auslesegerät einzustellen, elektrisch anzuschließen und eine Kommunikation mit einem PC herzustellen. Messen kann jedermann, jedoch um die Werte richtig zu interpretieren gilt es die gemessenen Betriebsmittel und deren Wirkweise zu verstehen. Generell ist bei Messungen immer darauf zu achten, dass die Temperaturen, Schwingungseigenschaften und Umweltbedingungen der Betriebsmittel bei jeder Messung gleich sind. Ist dies nicht der Fall, ist die Zustandsänderung bei der Auswertung miteinzubeziehen.

Folgenden Messaufbauten werden mit externen Messgeräten durchgeführt:

- Hydraulikaggregate

  Für die Messung der Hydraulikaggregate war ein Messaufbau zu gestalten, welcher Messdaten über den Hydraulikdruck, die Durchflussmenge und die Temperatur an der Hochdruckseite beider Aggregate ersichtlich macht. Aus den Messungen wird entnommen, ob die vorhandenen Betriebsmittel richtig eingestellt sind und welche Modifikationen vorgenommen werden müssen, um die Maschine fehlerfrei zu betreiben können. Für diese Messung ist es erforderlich, dass die Betriebstemperatur der Betriebsmittel erreicht ist.

- Anpressräder

  Der Schlüssel zum Erfolg der Verlegung der Folie liegt wie schon beschrieben am Anpressdruck und Art der Anpressräder, der Reifendruck der Räder, der Luftdruck der Rüttler das daraus resultierende Vibrationsverhalten der Räder. Das theoretisch berechnete Schwingungssystem unter Punkt 3.6 kann liefert eine Annahme wie es Berechnet werden könnte, lässt sich aber nur mit sehr hohem Rechenaufwand und Materialforschung in die Realität umsetzen. Selbst die Messung ist mit den vorhandenen Mitteln nur bedingt möglich.

3.10 Automatisierung der FVM

Die Automatisierung der FVM wird durch die Funktion und der Komplexität der Bedienung bestimmt. Die Funktion und der Grad der Automatisierung gehen aus der Anwenderspezifikation hervor. Wie in der Einleitung bereits beschrieben ist die Anforderung, dass die Maschine von nur zwei Maschinisten bedient wird.

Ziel bei der Neuentwicklung der Steuerung ist es, die Maschine soweit zu automatisieren, dass die Bedienung einfach und sicher ist und alle erforderten Funktionen implementiert werden. Die Maschine soll schlussendlich über zwei Moden verfügen, einen Automatikmodus und einen Servicemodus. Im Automatikmodus ist der Arbeitsprozess, die Folie an der Tunnelwand zu installieren, so zu realisieren, dass der Bediener immer nur einen Knopf gedrückt halten muss und bei Fehlern oder notwendigen Pausen es immer möglich ist, die Arbeitsprozesse abzubrechen. Der Servicebetrieb ist für Servicearbeiten vorgesehen und bietet dem Wartungspersonal die Möglichkeit, alle Funktionen separiert zu fahren.

Theoretisch könnte die Maschine komplett mit einer mechanisch hydraulischen Steuerung betrieben werden. Dies würde aber niemals den gewünschten Automatisierungsgrad erreichen. Um den Anforderungen gerecht zu werden, werden Steuerung und Regelung der Maschine mittels einer SPS umgesetzt.

Automatisieren

Die Automatisierungstechnik ist heutzutage nicht mehr bei der Verwirklichung wegzudenken. Das wohl Komplexeste bei der Automatisierung ist, dass die Entwicklung sehr schnell voran schreitet.

„Unter dem Begriff der Automatisierung versteht man umgangssprachlich das Umstellen auf selbsttätige Arbeitsvorgänge im Zusammenhang mit fertigungstechnischen oder verfahrenstechnischen Prozessen. Diese Prozesse und Verfahren laufen innerhalb technischer Systeme ab, die aus einer aufgabenspezifischen Anlage und aus standardisierten Automatisierungsgeräten bestehen. Als Standartbegriffe haben sich Speicherprogrammierbare Steuerungen und Industrie-PCs etabliert.“

Reale Aufgaben der Automatisierungstechnik sind im Allgemeinen sehr komplex. Als umfassender Ausdruck für Steuerungs-, regelungs- und Visualisierungs-Vorgänge hat sich der Begriff der „Automatisierung“ durchgesetzt. Er beinhaltet, dass Automatisierungsgeräte selbsttätig Programme befolgen und dabei Entscheidungen auf Grund vorgegebener Führungsgrößen und rückgeführter Prozesse aus der Anlage sowie erforderlich Daten aus internen Speichern des Systems treffen, um daraus notwendige Ausgangsgrößen für den Betriebsprozess zu bilden. „((Günter Wellenruth, 2009) Seite 1)

Steuern und Regeln an der FVM

In der Automatisierungstechnik wird grundsätzlich gesteuert und geregelt. Beim steuern werden Eingangsgrößen durch einer festgelegten Gesetzmäßigkeit Ausgangsgrößen beeinflusst. Vereinfacht bedeutet dies, wenn z.B. wie bei der FVM ein Taster an einer Maschine betätigt wird und daraus folgt dass sich die hydraulischen Antriebsmotoren zu drehen beginnen spricht man von einer „Steuerung“. Eine Regelung findet statt wenn eine Störgröße die anzusteuernden Betriebsmittel beeinflusst. Wird zum Beispiel der angesteuerte Motor durch eine höhere Leistungsabnahme langsamer und es ist aber eine konstante Geschwindigkeit gefordert, ist die Motordrehzahl zu messen und mittels des Messwertes eine Drehzahlveränderung auszulösen. Dies ist dann ein klassische „Regelung“ der Betriebsmittel.

Der Vorteil bei der Anwendung einer SPS liegt unter anderem darin, dass Steuer- und Regelprozesse realisiert werden können.

3.10.1 Einsatz der Speicherprogrammierbare Steuerung an der FVM

Um Automatisierung einer Maschine zu erreichen gibt es viele verschiedene Arten und Anwendungen. Bei der FVM wird der Automatisierungsgrad durch eine SPS umgesetzt. Mittels der SPS werden alle Funktionen der Maschinen gesteuert, geregelt und Fehler kommuniziert.

Durch die Norm DIN EN 61131-3 (IEC 6113-3) werden Datentyp- und Variablenkonzeption, Programmorganisation und Fachsprachkonzept festgelegt.

Die eingesetzte SPS ist von Siemens und wird mittels der hauseigenen Anwendersoftware „STEP 7“ programmiert. Für weitere Informationen www.siemens.com.

Vorteile

- Das Programm kann schnell und problemlos geändert werden und gesteuerte Funktionen können ohne Änderung der Verkabelung angepasst werden.
- Der erforderliche Raumbedarf gegenüber einer Relaisschaltung ist wesentlich geringer
- Komplexe Abläufe lassen sich leichter und mit geringerem Kostenaufwand realisieren
- Peripheriegeräte können in die Steuerung und Regelung eingebunden werden
- Keine Verschleißteile

Nachteile

- Hohe Anschaffungskosten
- Spezialist benötigt = Abhängigkeit vom Hersteller der Maschine

3.10.1.1 Erstellen eines systematischen Steuerentwurfs

Wie schon beschrieben, liegt im Sondermaschinenbau eine der größten Herausforderungen darin, anhand der Spezifikationen die gewünschten Funktionen zu bestimmen. Anhand der geänderten Automatisierungsvorgänge, welche durch die Inspektion transparent werden, ist ein neuer systematischer Steuerentwurf umzusetzen. Mittels des Entwurfs werden der Arbeitsablauf und damit das Programm dargestellt.

3.10.1.2 Hardware

Eine SPS ist strukturell wie ein Rechner aufgebaut, deren Funktion als Programm gespeichert ist. Im einfachsten Falle wird eine SPS mit einer Stromversorgung und einem „Steuerungsprozessor CPU“ realisiert.

Um die FVM zu automatisieren werden weitaus mehrerer Hardwarekomponenten benötigt. Bei der Maschine kommen zum Steuerungsprozessor noch Peripherieprozessoren und die dafür notwendigen Schnittstellen hinzu. Die verbauten Prozessoren sind teilweise im Programm und in der Steuerung implementiert und es gilt die vollständige Implementierung umzusetzen.

Die Anzahl der zu verwendeten Prozessoren ist durch die Kommunikationseigenschaften begrenzt. Die zu verwendete Hardware ist mittels der Anwendung zu bestimmen, je nachdem wie viele digitale oder analoge Ein- und Ausgänge zur Steuerung und Regelung der Anlage notwendig sind. Aufgrund dessen ist es sehr wichtig im Vorfeld den Grad der Automatisierung und die Funktionen festzulegen. Auf die Hardwarekonfigurierung wird hier nicht weiter eingegangen, da diese von dem Hersteller vorgegeben ist und verweise somit auf das Buch (Berger, 2009).

3.10.1.3 Kommunikation der Prozessoren an der FVM

Da die FVM nicht nur eine Zentralbaugruppe besitzt, sondern auch noch mehrere Peripheriegeräte, ist die Kommunikation der Geräte wesentlich für die Funktion der Maschine.

Die Kommunikation ist die Nabelschnur für die peripheren Baugruppen, deshalb ist es von hoher Wichtigkeit, dass jene zuverlässig funktioniert (durch die richtige Verkabelung) und dass die Schnittstellen richtig konfiguriert sind. Was gesendet wird muss auch korrekt ankommen.

Ein schon vorhandenes „Profibus-DP“ (siehe (Berger, 2009)Seite 42) System dient zur Kommunikation zwischen der Zentralbaugruppe, welche als „DP-Master“ (siehe Berger, 2009 Seite 32) fungiert und deren Peripheriegeräte, die im Profibus-DP als DP-Slaves (siehe Berger, 2009 Seite 32) eingesetzt werden. Änderungen am vorhandenen Profibus-DP Kommunikationssystem sind durch die Neuentwicklung nicht betroffen.

Der Infrastruktur im Tunnel ist mit einer „Ethernetverbindung“ (siehe Berger, 2009 Seite 42) ausgestattet, jene ist für ein Fernwartungssystem zu verwenden. Für das Einrichten der Fernwartung ist die SPS über eine „Ethernet“-Schnittstelle an das Netzwerk anzuschließen. Da der Abdichtungszug (auf dem die Maschine montiert ist) sich ständig bewegt ist eine feste Netzwerkverkabelung nicht möglich und der Zugang zum Ethernet ist über eine kabellose Netzwerkverbindung herzustellen.

Alle Kommunikationssysteme sind über die Hardware und die Netzkonfiguration definiert.

3.10.1.4 Programmierung der FVM

Die Programmierung der Maschine erfolgt in der SPS über die Programmiersprache „Anweisungsliste - AWL“. Um das neue Steuerungskonzept umzusetzen, ist das schon vorhanden Programm, zu ergänzen und komplett zu überprüfen.

Alle programmierten Schritte werden in der Zentralbaugruppe (Master) gespeichert und zyklisch abgearbeitet, die Peripheriebaugruppen (Slave) haben enthalten im Grunde genommen kein Programm sondern lediglich werden die Hardwarekonfigurationen gespeichert.

Die Software setzt sich im Grunde genommen aus „Operationsbausteinen - OBs“, Funktionsbausteinen -FBs, Funktionen-FCs, und Datenbausteinen DBs, Datentyp UDTs zusammen.

Jeder der genannten Bausteine hat seine Bestimmung im Programm und erhält dadurch auch seine Priorität und Wichtigkeit im Programmablauf

<u>Hauptprogramm</u>

„Das Hauptprogramm ist das zyklisch bearbeitete Anwenderprogramm; es ist die „normale“ Programmierbearbeitung bei speicherprogrammierbaren Steuerungen.“((Berger, 2009) Seite 290)

Das Hauptprogramm ist die eigentliche Intelligenz der gesamten Anlage. Unter der Anwendung „Step 7“ ist das Hauptprogramm durch den Operationsbaustein OB1 definiert. In diesem OB werden alle Funktionen aufgerufen und je nach Anordnung abgerufen.

Alle Programmfunktionen, welche für dieses Projekt erforderlich sind, werden in dem Buch Berger, 2009 von Seite 290-433 beschrieben. Welche Programfunktionen angewendet wurden, sind aus der Software „mim_v2_2 zu entnehmen.

Datentypen

Eine SPS kann nur Daten verarbeiten welche auch ihrer Funktion entsprechen. Das Wichtigste bei der Programmierung einer SPS ist das verwendetet Datentypen richtig eingesetzt werden und verstanden wurden.

Bei der Programmierung der Folienverlegemaschine sind folgenden Datentypen im Einsatz,

BOOL, BYTE, WORD, DWORD und CHAR siehe Buch Berger, 2009 Seite 436

Die Zahlendarstellung erfolgt in

INT, REAL,

Remanenter Speicher

Die vorhandene Zentralbaugruppe ist mir einer Pufferbatterie ausgestattet, somit werden alle Daten aus den „Datenbausteinen-DBs“ remanent gespeichert und stehen auch nach Stromausfall oder eines „Reset“ Vorganges dem Programm zur Verfügung. Durch die Einstellung an der Zentralbaugruppe könne auch „Merker“, „Zeiten“ und „Zähler“ remanent gespeichert werden.

Problematik beim Programmieren

Das Problem beim Programmieren, oder besser gesagt Anweisungen schreiben, ist, dass jeder Programmierer seinen eigenen Stil und Denkweise hat. Die FVM könnte vermutlich in mindestens 100 verschieden Programmen/ Anweisungen programmiert werden. Das Hauptziel eines jeden Programmierers soll es aber doch sein, strukturiert und einfach zu programmieren.

4 Praktischer Teil Neuentwicklung FVM

Im praktischen Teil dieser Arbeit werden alle in der Praxis durchgeführten Arbeiten, welche für die Neuentwicklung notwendig sind, beschrieben. Hierbei werden Maßnahmen, Umbauten, Tests und Messungen aufgelistet, welche zur erfolgreichen Inbetriebnahme der Maschine führen. Die praktische Umsetzung erfolgte im Bereich Mechanik und Hydraulik mit Zusammenarbeit der Firmen Baystag und der Firma ATP. Alle Versuchsaufbauten, Messungen, spezielle Konstruktionen und steuerungstechnischen Änderungen wurden vollständig durch den Autor ausgearbeitet und umgesetzt.

Die unter Punkt 3 eigens für den Umbau ausgearbeitet wird verwiesen. Alle Vergleichsstände der Messungen wurden mittels der im theoretischen Teil angeführten Berechnungen interpretiert.

Die größte Herausforderung ist bei einer schon gebauten und programmierten Maschine zu verstehen, wie der Steuerungstechniker gedacht und projektiert hat.

4.1 Inspektion der Maschine

Die Inspektion der Maschine ergab die folgenden Ergebnisse, welche den Leitfaden für alle notwendigen Umbauten darstellen.

4.1.1 Allgemeiner Zustand

An der Folienverlegemaschine wurde eine genaue Inspektion durchgeführt um die Funktionalität und die Betriebsfähigkeit zu prüfen. Weiteres geht daraus hervor, welche Funktionen neu entwickelt bzw. angepasst werden.

Im Zuge der Inspektion wurden folgende Punkte begutachtet.

- Bedienung, Steuerung und Regelung
- Elektrischer und elektronischer Zustand
- Hydraulische Funktionalität
- Pneumatische Funktionalität
- Mechanik

Die Inspektion erfolgte im Beisein des Herstellers der Steuerungssysteme.

Es stellte sich bei der Inspektion heraus, dass nicht nur Anpassungen durch die Änderung der Spezifikationen betreffend der Gewölbeoberfläche an der Maschine notwendig sind, sondern komplette Funktionen der Maschine noch nicht getestet wurden oder Steuerungstechnisch nicht fertig in die Funktionalität eingebunden sind.

An der Maschine sind zu viele Komponenten verbaut, welche nicht mehr benötigt werden, da angeblich von Anfang an nicht klar war wie jene zu projektieren sind. Diese nicht in Betrieb befindlichen Komponenten stehen dadurch zu freien Verfügung, um die Maschine neu zu gestalten.

Die Maschine war am Zeitpunkt der Inspektion allgemein nicht im betriebsfähigen Zustand. Ein Verlegen der Membrane wäre nur mit großem manntechnischem Aufwand möglich und dadurch ist die Maschine unbrauchbar.

4.1.2 Mechanischer Zustand

Der mechanische Zustand ist stahlbautechnisch gesehen sehr stabil und robust. Mechanische Bauteile, welche die Funktion und die Sicherheit der Maschine gewährleisten sollen sind jedoch zu verbessern, um präventiv der Maschine einen höheren Sicherheitsfaktor zu geben.

Anpressräder

Die Anpressräder sind durch ihre Ausführung viel zu schwer und zu hart. Die Folie, welche an das Gewölbe installiert werden muss könnte dadurch beschädigt werden. Durch das hohe Trägheitsmoment, welches die Räder durch ihr Gewicht aufweisen, sind die Vibrationseigenschaften mit dem vorhandenen System nicht ausreichend.

Mechanische Getriebe

Die mechanischen Getriebe müssen nachgerechnet werden, da Gewichtsänderungen seit der ersten Inbetriebnahme in Deutschland stattgefunden haben.

Bremssystem des Grundwagens

Das Bremssystem ist für eine statische Bremsanlage ausreichend ausgelegt, jedoch sind die Bremsbacken für ein dynamisches Bremsverhalten nicht ideal.

Schmierung der Kette

Die Maschine verfügt über kein Kettenschmiersystem, jenes ist mittels einer automatischen Kettenschmieranlage umzusetzen.

Folienaufnahme

Die Folienaufnahme, dient als Trägereinheit der Folie an der Maschine und ist für den Verlegeprozess essentiell.

Die Folie wird auf einem Stahlrohr aufgewickelt, dieses Rohr hat eine Länge von 4.010 mm. Die Spannvorrichtung der Folie lässt sich nur 4.005 mm öffnen. Ein Ändern der Folienrolle ist nicht möglich, deshalb ist an der Spannvorrichtung die Änderung vorzunehmen.

4.1.3 Pneumatische Komponenten

Die Rüttler, welche die Anpressräder zum Schwingen bringen sollen, haben zu wenig Leistung und sind durch die Art ihres Anbaus am System komplett wirkungslos.

Es sind Rüttler an jedem Rad anzubringen und eine neue Konstruktion der Rüttleraufnahme ist unbedingt erforderlich.

An der Maschine ist nur ein Kompressor installiert welcher für den Betrieb von 64 Rüttlern anstatt von 32 Rüttlern zu wenig Leistung hat.

4.1.4 Hydraulikanlage

Die Hydraulikanlage wird von zwei Aggregaten mit Energie versorgt.

Hydraulikaggregate

Die Hydraulikaggregate sind parallel an das Hydrauliksystem angeschlossen und liefern eine zu geringe Ölmenge für den erforderlichen Prozess. Die Folge daraus ist, dass die Antriebe nicht die erforderliche Geschwindigkeit erreichen. Die Druckbegrenzungsventile, welchen den Primärdruck der Anlage festlegen, sind zu niedrig eingestellt die folge daraus ist, dass die Druckabschneidung an der Pumpe nicht die Funktion der Maximaldruckreduzierung übernehmen kann. Die Anlage überhitzt, der Antriebsmotor erfährt eine zu hohe Leistungsabnahme und die Regelung der Pumpe wird beschädigt.

Folienabrollung

Die Folienabrollung wird von einem Hydraulikmotor angesteuert. Der Motor ist zu schwach ausgelegt um die vorhandene Folie nach dem Abrollen an der Übergabe vom Haupterektor zum Seitenerektor mit reiner hydraulischer Bremswirkung zu halten. Der Hydraulikmotor kann nicht größer ausgelegt werden, es ist ein System erforderlich, welches es dem Motor ermöglicht, die Last der Folie beim Abrollen auf der linken Seite ohne Einsatz einer Bremse zu halten.

Bremssystem am Seitenerektor

Bei dem vorhandenen hydraulisch mechanischen Bremssystem kann es durch dazu führen, dass ein Restdruck in der Leitung bleibt und somit die Bremsen geöffnet bleiben.

4.1.5 Elektrik

Die Elektrik der Maschine ist teilweise nicht richtig für die Funktionen ausgelegt.

Antriebsmotoren der Hydraulikaggregate

Die Motoren der Antriebsaggregate werden durch die hydraulische Einstellung der Betriebsmittel überlastet. Das abgenommene Moment überschreitet teilweise das zulässige Kippmoment des Motors und führt beim Ansteuern gleichzeitiger Funktionen zum ständigen Einbrechen der Drehzahl. Dies beeinflusst die Regelung der Hydraulikpumpen und die Ölmenge negativ.

Die Motorschütze überhitzen und lösen ungewollt aus, ein Grund für dieses Phänomen ist, dass der Motor überlastet und ständig an der Leistungsgrenze betrieben wird. Der Motorschutzschalter ist auf die obere Leistungsgrenze eingestellt.

Hauptstromversorgung

Die Hauptstromversorgung ist nicht ausreichend ausgelegt, der Einspeisungsschalter löst deshalb öfters aus.

4.1.6 Bedienung, Steuerung und Regelung

Bedienung, Steuerung und Regelung sind durch die Programmierung der Maschine und den Einsatz von internen Messmitteln umgesetzt.

Bedienung der Maschine

Die Bedienung der Maschine ist über vier Tastpaneele möglich. Die Lampensteuerung der Tasten entspricht nicht den Funktionen. Es sind immer mehrere Tasten für die Bedienung der Maschine zu betätigen. Ohne die notwendige Signalisierung können Funktionen bedient werden, die sich außerhalb des Sichtbereiches des Bedieners befinden. Die Maschine benötigt 4 Personen.

Steuerung und Regelung der Balken für Anpressräder

Das verbaute Messsystem für die Abstandsmessung des Balkens, welcher die Anpressräder trägt, ist funktioniert nicht richtig im Tunnel. Diese Abstandsmessung ermöglicht der Maschine die Profilunterschiede im Gewölbe zu messen und den Balken je nach Versatz auszurichten. Die Ultraschallsensoren, welche für die Messung des Abstandes vorgesehen sind, messen gegen Vlies und die Folie. Zu dem Zeitpunkt, an dem die Maschine in Deutschland in Betrieb genommen wurde, fand dieser Aspekt keine Beachtung. Die schlechten Reflexionseigenschaften von Vlies sind für eine Abstandsmessung auf Ultraschallbasis nicht geeignet. Das System ist daher neu zu entwickeln.

Gleichlaufsteuerung

Die Maschine ist mit Drehgebern ausgestattet, welche eine Gleichlaufsteuerung für das Verfahren der Erektoren ermöglichen. Die Drehgeber sind einmal mit Binärcode und einmal mit Graycode ausgestattet, was bedeutet dass die verwendete Auswerteelektronik (welche Graycode erwartet) nicht fähig ist brauchbare Werte zu verarbeiten. Ohne Gleichlaufsteuerung kommt es zu einem höheren Verschleiß der Bauteile und u.U. zu einem Verkeilen der Erektoren in deren Führungsschienen.

Bremsansteuerung des Grundwagens

Um zu garantieren, dass die Bremsen im betätigungslosen Zustand immer geschlossen sind, ist eine redundante Bremsansteuerung einzubauen.

Programmierung

Die Programmierung der Maschine ist sehr unübersichtlich aufgebaut. Dadurch ist nicht gewährleistet, dass alle Funktionen fehlerfrei ablaufen.

Folgende Funktionen sind nicht implementiert oder müssen komplett neu programmiert werden, ein Ablaufschema ist zu erstellen.

1. Fahrfunktion der Erektoren (Gleichlaufsteuerung, Fahrgeschwindigkeit, Sicherheitsabschaltungen, Notbetrieb)
2. Folienabrollung (Bremsansteuerung, Regelung der Folienabrollung)
3. Ansteuerung des Balkens der Anpressräder
4. Sicherheitsabschaltung der Aggregate (bei Kettenbruch, bei falscher Bremsansteuerung)
5. Programm durch globale Funktionsbausteine vereinfachen
6. Bedienung vereinfachen
7. Fehlercodes erstellen und in Visualisierung und Abschaltkriterien einfügen.
8. Fernwartung einrichten
9. Uhrzeit abgleichen und einstellen für Fehlerlog
10. Analoge Ein- und Ausgänge in globale Datenbausteine einpflegen
11. Not-Aus Visualisierung, damit erkannt wird, welcher der Not-Aus Schalter betätigt wurde
12. Rücksetzen aller Funktionen bei Not-Aus
13. Sprungmarken richtig einsetzen
14. Variablen und Referenzdaten richtig deklarieren und erweitern

4.1.7 Folgerung aus der Inspektion

Zur Erhebung der notwendigen Entwicklungen und Änderungen wurden im Zuge der Inspektion alle Funktionen an der Maschine betätigt. Wie man an den vorgenannten Punkten erkennen kann, sind noch zahlreiche Fehlfunktionen an der Maschine zu beseitigen. Es sind die Spezifikationen abzuklären und die Umweltbedingungen zu erforschen, mechanische, hydraulische, elektrische und programmiertechnische Anwendungen abzuändern. Um alle Änderungen durchzuführen, sind Messungen an der Hydraulik, Mechanik und Elektrik vorzunehmen.

4.2 Umweltbedingung erforschen

Da sich die Maschine in einem Tunnel befindet und die Umweltbedingungen im Vorhinein nicht feststanden, wurde diese gemessen. Diese Bedingungen haben starken Einfluss auf die Betriebsmittel. Die Messungen beziehen sich auf den Punkt 3.2.

Verwendetes Messmittel

Um die Umweltbedingungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) zu messen, wurden spezielle Datenlogger von der Firma „*ThermoWorks*“ verwendet. Dies ist ein einfacher Datenlogger, welcher mit einer Batterie versehen ist und bis zu zwei Jahre Laufzeit garantiert.

Diese Datenlogger wurden in dem Hauptschaltschrank der Maschine und in der freien Umgebung im Tunnel angebracht.

4.2.1 Temperatur und Feuchtigkeit im Schaltschrank

~~Die~~ Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Schaltschrank werden durch Lüfter und Heizungen geregelt. Dies führte zu Problemen, da der Filter des Lüfters ständig verschmutzt war und durch die Heizung die Luft im Schrank zu warm wurde. Für den Einsatz im Tunnel hat es sich bewährt, keine Lüfter oder Heizungen einzubauen sondern die Schaltschränke dicht zu verschließen und lediglich Trockensäcke in die Schaltschränke zu legen. Wie man in der Abb. 25 erkennen kann, ist die Luftfeuchtigkeit bei Stillstand der Maschine bei max. 70 % und die Temperatur im Schaltschrank bei max. 22° Celsius. Wird die Maschine in Betrieb genommen erwärmt sich die Luft im Schaltschrank auf max. 34° Celsius, die Luftfeuchtigkeit nimmt stark ab und liegt bei etwa 35 %. Dies sind ideale Betriebsbedingungen für elektrische Betriebsmittel.

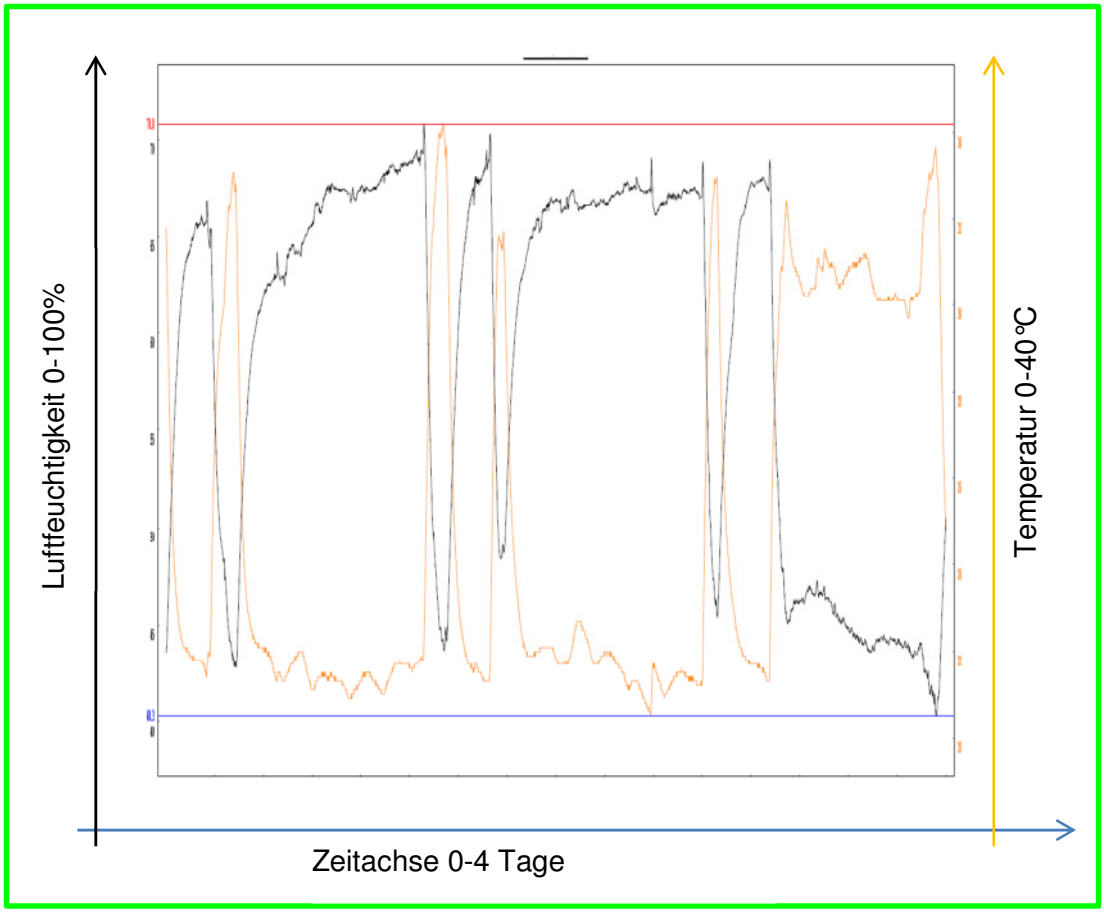


Abbildung 25: Temperatur und Luftfeuchtigkeit Schaltschrank

4.2.2 Temperatur und Feuchtigkeit im Tunnel

Die Temperaturen und die Luftfeuchtigkeit im Tunnel sind unerwartet sehr stabil, durch das integrierte Lüftungssystem im Tunnel sind diese Werte sehr konstant. Die Luftfeuchtigkeit liegt konstant bei etwa 80-95% und die Temperatur bei etwa 19-24 °C. Die Temperatur und im Tunnel wurde über einen Zeitraum von einen halben Jahr ausgewertet bei Außentemperaturen von -15 °C bis 33°C.

4.2.3 Verschmutzung

Das Lüftungssystem im Tunnel ist so aufgebaut, dass Frischluft am weitest vorangeschrittenen Punkt eingeblasen wird und sich die Luft mit einer Geschwindigkeit von ca. 1,8 km/h Richtung Anfang des Tunnels bewegt. Der Verschmutzungsgrad der Maschine ist durch den voranschreitenden Prozess sehr hoch. Die Maschine selbst erzeugt werden Staub noch Abgase.

Durch die starke Verschmutzung ist die Maschine einmal pro Woche zu reinigen. Für die Kettenschmierung ist ein Schmutz absorbierendes Schmiermittel zu verwenden. Sämtliche Schmierpunkte sind alle zwei Tage abzuschmieren, die Luftfilter der Kompressoren täglich zu prüfen und ggf. zu reinigen.

4.3 Anwenderspezifikationen

Durch die Inspektion wurde der Zustand der Maschine identifiziert. Die Umweltbedingungen wurden erforscht und durch die Abänderung des Lüftungs- und Heizsystems ideale Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen für die Komponenten hergestellt. Nun soll dargestellt werden, welche Spezifikationen die Maschine erfüllen muss.

1. Umweltbedingungen

   Werden durch den Punkt 4.2 dargestellt und die für die elektrischen Betriebsmittel durch die Angaben unter 3.2 vorgegeben.

2. Zu verrichtende Arbeit und zu verwendendes Material

   Die genauen Spezifikationen der Folie und die Art der Verlegung sind der Einleitung zu entnehmen. Die Maschine wird darf nur in einer 12 Stunden Tagschicht (von 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr betrieben werden) und hat in dieser Zeit eine Verlegeleistung von sieben 4 m Bahnen mit einer Länge von je 31 Metern. Die Spezifikationen für die Profiländerungen und Ausbaugröße des Tunnels sind aus den Spezifikationen des Tunnels zu entnehmen.

3. Automatisierungsgrad

   Die Maschine ist so zu gestalten, dass sie mit einem Personalaufwand von nur 2 Bedienern die unter Punkt 2 vorgegeben Leistung verrichten kann. Dementsprechend ist der Automatisierungsgrad vorgegeben.

4. Zur Verfügung gestellte Infrastruktur

   Der Maschine steht elektrische Energie mit einer Spannung von 600 VAC und einer Stromstärke von 100 Ampere und zur Verfügung. Es ist kein Druckluftanschluss für pneumatische Betriebsmittel vorhanden.

5. Budgetrahmen

   Das Budget für diese Maschine ist bereits überschritten, alle vorhandenen Bauteile sind so zu konfigurieren, dass die Maschine ihren Aufgaben fehlerfrei nachkommt. Weiter Kosten werden vom Kunden nur übernommen, wenn es sich um Umbauten handelt, die sicherheitsrelevant sind. Alle anderen Kosten sind vom Hersteller zu tragen und daher sind diese so gering wie möglich zu halten.

4.4 Planung der Neuentwicklung

Nachdem festgelegt wurde, was alles an der Maschine zu ändern ist, folgt nun die Planungsphase. Bei der Planung eines solchen Projektes wurde kein spezielles Softwaresystem benötigt um den Arbeitsplan, die benötigten Arbeitskräfte und den Zeitplan zu erfassen. Die gesamte Projektplanung wurde selbst durchgeführt.

Es wurde ein simples „Excel“ Formular mit einer einfachen Aufteilung für jeden Monat erstellt, die Projektaufgabenverteilung wird dadurch einfach dargestellt und ist für jeden durch eine Ablage auf einem „FTP-Server“ zugänglich. Der gesamte Umbau und die Neuentwicklung wurden in nur 4 Monaten umgesetzt. Diese Excel Formular wird auch als Lastenheft verwendet und stand unter ständiger Absprache mit dem Kunden. Es werden in dem File alle offenen oder abgeschlossenen Tätigkeiten, die Zuteilung des Verantwortungsberiech und die Arbeitseinteilung festgehalten.

Die in Anlage, Teil 4 dargestellten Auszüge des Excel Dokumentes für die Projektplanung und Überwachung, stellen einen Monat der Planung dar. Jeder Mitarbeiter hat einen Farbcode und die zugeteilten Zusatzinformationen kann jeder in einer automatisch generierten Ordnerstruktur (siehe Abb. 26) Informationen am Server abrufen (Tätigkeit Nummer 1 = Order 1). Sind Arbeiten vollständig erledigt, wird diese Grün eingefärbt, werden Arbeiten nicht zeitgerecht ausgeführt, werden jene rot hinterlegt und werden automatisch in das nächste Monat übernommen.

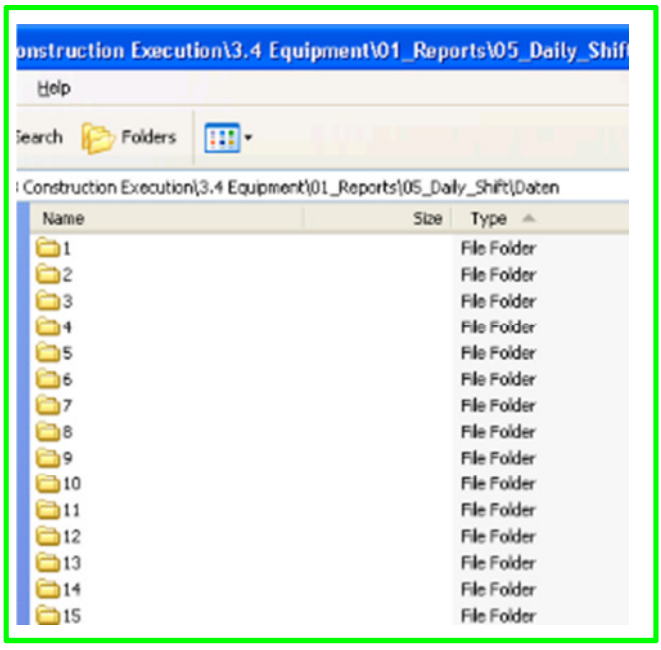


Abbildung 26: Ordnerstruktur für Projektdaten

Jeder Mitarbeiter für sich ist angehalten, Arbeiten aufzunehmen und selbstständig seine Informationen zu ändern oder zu ergänzen.

4.5 Mechanische Bauteile und Funktionen

4.5.1 Anpressräder und Rüttler

Die an der Maschine verbauten Anpressräder sind für den Verlegeprozess im Tunnel und die eingesetzte Folie nicht geeignet. Die Räder sind viel zu schwer und mit einem zu harten Gummi beschichtet.

Die Räder sind auf einer Pendelachse montiert. Die Rüttler sind in der Mitte der Pendelachse angebracht, dies ist zu weit von der Achse der Räder entfernt. Die Rüttler haben keine Wirkung mehr, weil sie eine viel zu schwere Masse zum Schwingen bringen müssen.

Das System war erst gar nicht messtechnisch zu überprüfen, da schon durch einfaches „Handauflegen“ keine Vibrationen spürbar sind.

Abbildung 27: Anpressräder mit hartem Gummi

Deshalb musste ein System entwickelt werden, welche eine Aufnahme der Rüttler direkt an der Achse erlaubt und die Räder müssen an Gewicht verlieren.

Lösung

Um bessere Schwingungseigenschaften zu erzielen wurde nach einem Rad gesucht, welches nicht zu weich ist und gute Schwingungseigenschaften hat.

Das Ergebnis aus zahlreichen Tests hat ergeben dass handelsübliche „Go-Cart“-Räder sich am besten für diese Aufgabe eignen. Theoretisch ist ein sehr hartes Material ein guter Überträger der Schwingung bzw. Vibration. Doch hat ein sehr hartes Material den Nachteil, dass unter einem hohen Anpressdruck sich das Trägheitsmoment wieder erhöht. Um die Rüttler direkt an der Achse ohne Durchdringungen anderer Bauteile montieren zu können, wurde durch die in Abb. 28 dargestellte Konstruktion entwickelt.

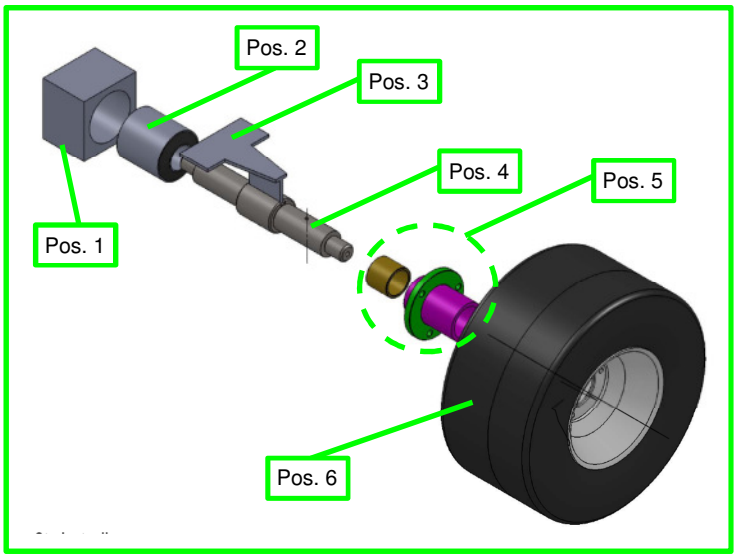


Abbildung 28: neue Radaufnahme

Legende Abb. 44 Pos. 1 Aufnahme; Pos. 2 Gummibuchse; Pos. 3 Rüttleraufnahme; Pos. 4 Radachse; Pos. 5 Radaufnahme und Lager; Pos. 6 „Go-Cart“ Rad

Abbildung 29: neue Anpressräder

Der Anpressdruck der Räder wird über die Anpresszylinder gesteuert. Jede Pendelachse hat einen Anpresszylinder, das bedeutet, der Anpressdruck am Zylinder entspricht der halben Kraft welche an einem Rad aufliegt. Der Hersteller der Kletten testet die Haltekraft der Klette indem eine Kraft von etwa 700 N auf eine Folie gedrückt wird, unter welcher sich eine Klette befindet. Dieser Vorgang kann jedoch mit der FVM nicht realisiert werden. Durch das Andrücken pro Rad mit 700 N wäre in Summe bei 32 Rädern pro Seite eine Kraft von knapp 22.400 N notwendig, welche auf die Erektoraufnahme drücken würde. Darauf ist die FVM mechanisch wie steuerungstechnisch nicht ausgelegt und die FVM würde sich in kürzester Zeit bei diesen hohen Anpresskrafteinstellungen zerstören. Durch die Verbesserung der Schwingungseigenschaften der Antriebsräder genügt ein niedrigerer Anpressdruck für die Verlegung. Mit großer Vibration reicht ein Anpressdruck pro Rad mit gerade Mal 430 N vollkommen aus, um das Klett mit der Vliesschicht hinter der Folie zu verbinden.

Messaufbau

Die Berechnung und schwingungstechnische Erfassung des Radsystems gingen über den Rahmen dieser Arbeit weit hinaus, deshalb wurde das System theoretisch als Schwingsystem (siehe Abschnitt 3.6) dargestellt. Federkonstante und Dämpfungskonstanten des Rades und die Eigenschafften der Gummibuchse sind nicht ausreichend wissenschaftlich erfasst, um die Rechnung richtig anwenden zu können. Um jedoch einen Referenzwert dem System gegenüber zu bekommen, erfolgte ein Messaufbau, der die G-Belastung, welche die Schwingung hervorruft, darstellt. Diese Werte können nicht für eine absolute Messung verwendet werden. Interessant ist die Auswertung, ob durch das oben konstruierte System tatsächlich die Schwingung sauber übertragen und besten Falls sogar noch weiter beschleunigt wird.

Der Messaufbau wird mittels eines Auswertemodul von „Endress+Hauser“ umgesetzt, und über Ethernet am PC ausgewertet.

Abbildung 30: Messgeräte Vibrationsmessung

Für die Messung wurden folgenden Sensoren verwendet (siehe Abb. 31)

Pos. 1 = Beschleunigungssensor, 4-20 mA, 0-20 G, 10-10.000 Hz für Messung der G-Kräfte

Pos. 2 = Drucksensor, 4-20 mA, 0-60 bar für Messung des Luftdrucks im Reifen und des Rüttlers

Pos. 3 = Drucksensor, 4-20 mA, 0-250 bar für Messung des Hydraulikdruckes

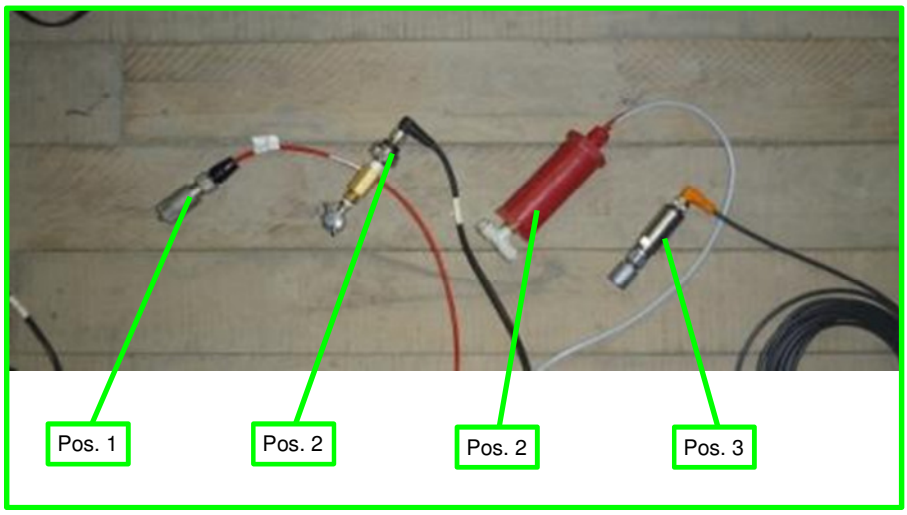


Abbildung 31: Sensoren für Vibrationsmessung

1. Vibrationsmessung 1

Messung der G-Kräfte am Rüttler, Luftdruck vom Rad, Luftdruck am Rüttler, Hydraulikdruck der Anpresszylinder.

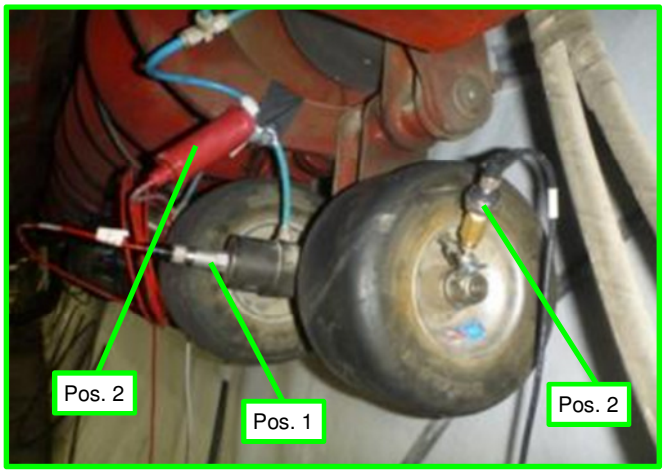


Abbildung 32: Vibrationsmessung 1

Der Rüttler erfährt bei einem Luftdruck von 6 bar, einer Masse von 1.040 Gramm, einer Frequenz von 66,6 Hz und einer Fliehkraft von 1.080 N theoretisch eine G-Belastung von etwa 105 G. Mit diesem theoretischen Wert und der Messung am Rüttler kann auf die Masse zurückgerechnet werden, welche der Vibrator theoretisch zum Schwingen bringen muss. Das Ergebnis der Messung bei einem hydraulischen Anpressdruck von 430 N (am Rad) hat 4.1 G ergeben, dies bedeutet dass eine Masse von etwa 24,5 kg zum Schwingen gebracht wird.

Messgraph

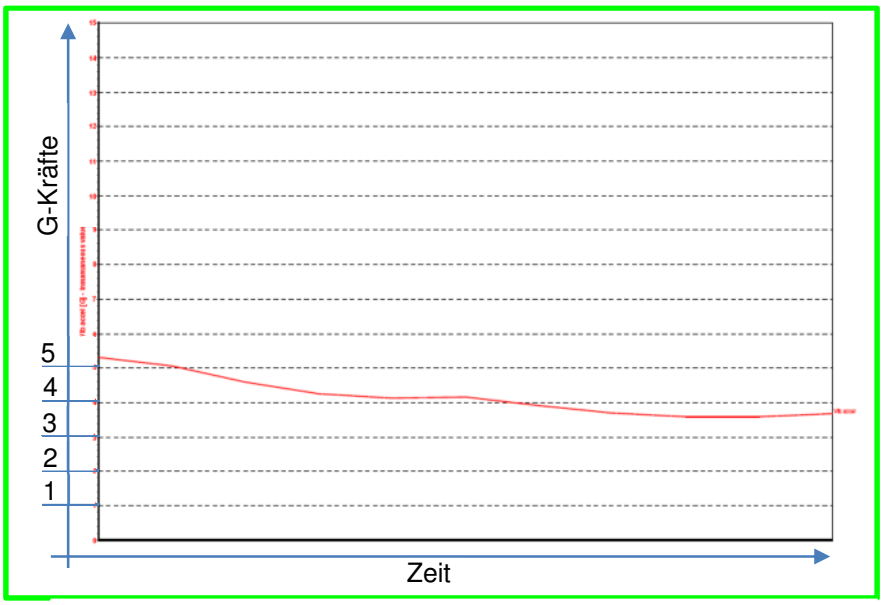


Abbildung 33: Messgraph für G-Messung am Rüttler

2. Messung

   Bei der zweiten Messung wurde der Sensor am Reifen montiert, durch die Montage mittels Tape ist die Messung nicht mehr realistisch für absolute Werte zu gebrauchen, aber die Messung kann nach wie vor als Referenz für die Einstellungen dienen.

Abbildung 34: Beschleunigungssensor am Reifen

Durch diese Messung konnte beobachtet werden, dass bei einem Anpressdruck von 430 N (Abb. 35 Pos. 5), einem Luftdruck von 6 bar am Rüttler und einem Luftdruck im Reifen von 2 bar (Abb. 35 Pos. 1) eine fiktive Beschleunigung von 10-11 G (Abb. 35 Pos.2) auftritt. Bei einem Reifendruck von unter 1 bar (Abb. 35 Pos. 3) geht die Beschleunigung auf 2 - 4 G (Abb. 35 Pos. 4) zurück.

Messgraph

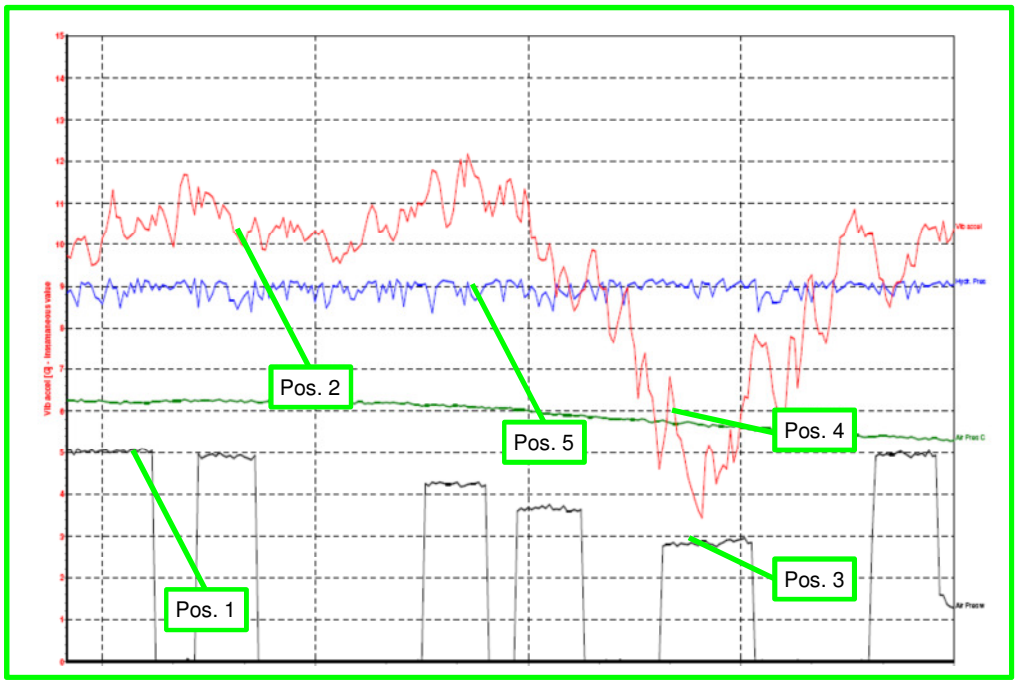


Abbildung 35: Vibrationsmessung am Reifen

Die Messung zeigte außerdem: Wenn nur eine Komponente nicht auf dem praktisch idealen Wert steht, sind die Vibrationseigenschaften sehr niedrig und die Wirkung reicht nicht aus, um das Vlies mit dem Klett erfolgreich zu verbinden.

Damit gilt für die Einstellungen

1. Luftdruck am „Go-Cart“-Reifen = 2-3 bar
2. Luftdruck für Rüttler („Aldak FP-35M“)= 6 bar
3. Anpressdruck am Reifen (eingestellt durch die Hydraulik) = 430 N
4. Einer Verfahrgeschwindigkeit der Erektoren von 1.5 m/min

Luftversorgung

Da die Rüttler nun auf jedem Rad montiert werden müssen sind es 64 Rüttler anstatt 32. Die Berechnung des Luftbedarfes ergab, dass zwei Kompressoren benötigt werden.

Leistungsdaten Kompressor: 2x 4,5 m^3 / min bei 6 bar

Benötigte Luftmenge: 9,04 m^3 / min 6 bar

4.5.2 Erhöhen des Sicherheitsfaktors der Bremsen am Grundwagen

Um den Bremssicherheitsfaktor am Grundwagen zu erhöhen, wurden anstatt der Stahlbremsbacken Bremsbacken mit einer Bremsbackenbeschichtung eingebaut.

Stahl auf Stahl hat gerade mal einen Reibungskoeffizienten von $\mu = 0{,}15$ das führt bei einer Bremskraft von 15 kN, dem Gesamtgewicht 33.000 kg der Maschine und einem Neigungswinkel von 5° bei dem verwendetem Backenbremssystem zu einem Sicherheitsfaktor von $\eta = 1{,}57$. Dies ist für eine statische Bremswirkung ausreichend, doch im Falle der FVM muss die Bremse im Notfall auch dynamisch wirken können. Bei einem dynamischen Bremsverhalten benötigt die Maschine bei dieser Art von Bremsbacken 5,27 m Bremsweg (siehe Abb. 36. Schleifspuren am Stahlträger).

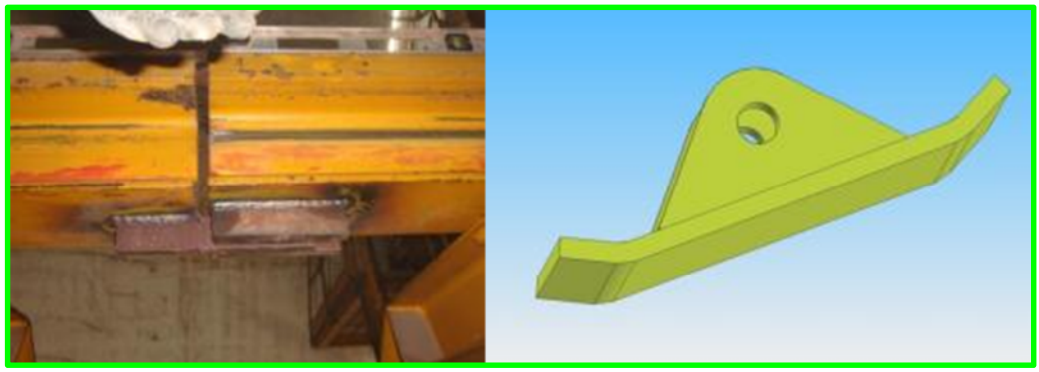


Abbildung 36: Stahlbremsbacken

Um dies zu verbessern wurden Bremsbacken mit einer Bremsbackenbeschichtung hergestellt, welche unter den beschriebenen Bedingungen einen Sicherheitsfaktor von $\eta = 5{,}23$ erzielen. Der Bremsweg mittels der „neuen“ Bremsen wird auf 0,71 m reduziert.

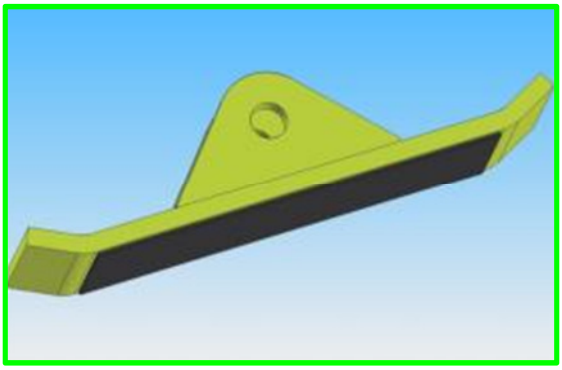


Abbildung 37: Bremsbacken mit Beschichtung

4.5.3 Getriebesicherheit erhöhen

Um den Sicherheitsfaktor der Getriebe und deren Wellen ebenfalls zu erhöhen, wurden diese von einem Sachverständigen und der Firma ATP nachgerechnet und nachgerüstet.

Alle Berechnungen sind in dem Dokument „Dauerfestigkeitsberechnung der Getriebe und Wellen an der FVM“ nachgelesen werden. Das Dokument ist beim Hersteller aufgelegt.

4.6 Hydraulische und elektrische Einstellungen

4.6.1 Hydraulikaggregate

Die Einstellungen der Hydraulikaggregate waren nicht für den Einsatz unter den vorgefundenen Bedingungen am NTFP geeignet und führten zu Beschädigungen der Betriebsmittel der Hydraulikaggregate.

Die Hydraulikpumpe wurde durch ständige Überlastung und durch die Falscheinstellung der Druckbegrenzungsventile beschädigt.

Schaden Hydraulikpumpe

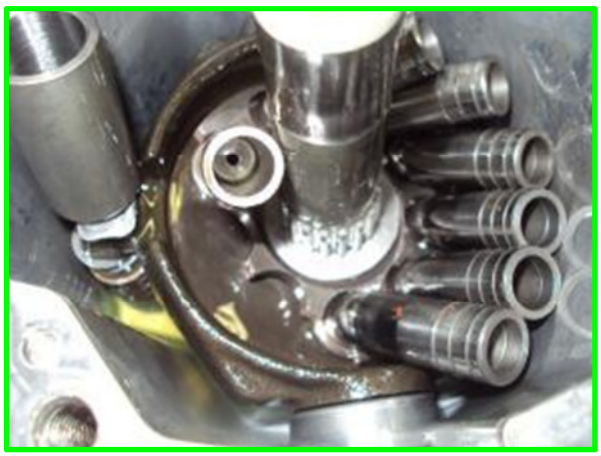


Abbildung 38: Schaden an Hydraulikmotor

Der Schaden an der Pumpe wurde hervorgerufen durch das zu niedrig eingestellte Primärdruckventil. Weil das Primärdruckventil um etwa 10 bar niedriger eingestellt war wie das Druckabschneideventil und zwei Pumpenaggregate parallel für die Versorgung der Maschine arbeiten, kam es zu ungünstigen Regelbedingungen bei der maximal Einstellung des Schwenkwinkels an den Pumpen. Die Pumpe vom „linken“ Aggregat erfuhr ein ständiges kurzzeitiges stoßartiges Regeln (da ein etwas geringerer Druck eingestellt war), was zum Bruch der Regeleinheit und zur Zerstörung der Steuerscheibe führte.

Die Einstellung des Druckes am Primärventil hatte zur Folge, dass der Pumpe ständig maximale Leistung abverlangt wird und sich das System überhitzt.

Zudem ist der eingestellte Druck zu hoch und führt zu einer Überlastung des Antriebsmotors.

Schaden am Elektromotor und Überhitzung des Leistungsschützes

Durch die ständige zu hohe Leistungsabfrage kam es zu einem Schaden am Elektromotor. Der Elektromotor ist für einen Nennstrom von 15,5 Ampere ausgelegt. Die Messung ergab eine Dauerstrom im Verlegebetrieb bis zu 20 Ampere, dies ist nach jeder Berechnung zu hoch für einen Dauerbetrieb ist.

Die Folge daraus war, dass eine Wicklung am Motor durchgebrannte (Abb. 39 Pos.1). Der Motorschutzschalter wurde immer wieder zurückgesetzt und der Fehler nicht behoben.

Weiteres war die Betriebstemperatur des Motoschutzes (welcher nur einen maximalen Strom von 16 Ampere zulässt) im Dauerbetrieb dann auf 75℃ angestiegen.

Abbildung 39: Motorschutzüberhitzung und Elektromotorschaden

Lösung 1

Das Primärventil wurde um 20 bar höher eingestellt wie die Druckabschneidung (200 bar) der Pumpe, somit kann die Pumpe ihrem Regelbedarf wieder nachgehen und eine Überlastung nicht mehr vorkommen.

Der Motorschutz wurde - wie von Herstellern empfohlen - mit einem Motorschutzschalter mit einer maximalen Einstellung von 24 Ampere ausgestattet. Wie im theoretischen Teil bereits ausgeführt, ist eine 25 % höhere maximal zulässige Einstellungsmöglichkeit zu empfehlen. Der Motorschutzschalter ist zwar nach wie vor auf den Nennstrom des Motors eingestellt, allerdings erfährt der Motorschutzschalter nicht ständig den maximal zulässigen Strom.

Weiteres wurde der Softstarter auf eine länger Startzeit (von 1 auf 3.5 sec) eingestellt um einen sanfteren Anlauf zu gewährleisten. Dadurch erlangt beim Hochfahren der Motoren die Pumpe nicht gleich das volle Moment und die Regelung arbeitet sanfter in der Anlaufphase.

Nach Neueinstellung traten im Durchlaufbetrieb wieder Probleme mit der Überlast auf, welche im Messgraphen (Abb. 40) ersichtlich sind. Daher wurde ein Messaufbau an den Aggregaten eingerichtet.

Der Messaufbau besteht aus einem Auswertegerät der Firma „Hydac“, Auswertung über einen PC.

Es wurden folgende Sensoren verwendet:

1. Drucksensoren = Hydraulischen Druck der Anlage beider Aggregate
2. Durchflussmesser = Druchflußmenge des Hydrauliköls
3. Amperemeter = entnommener Strom des Antriebmotors

<u>Messgraph</u>

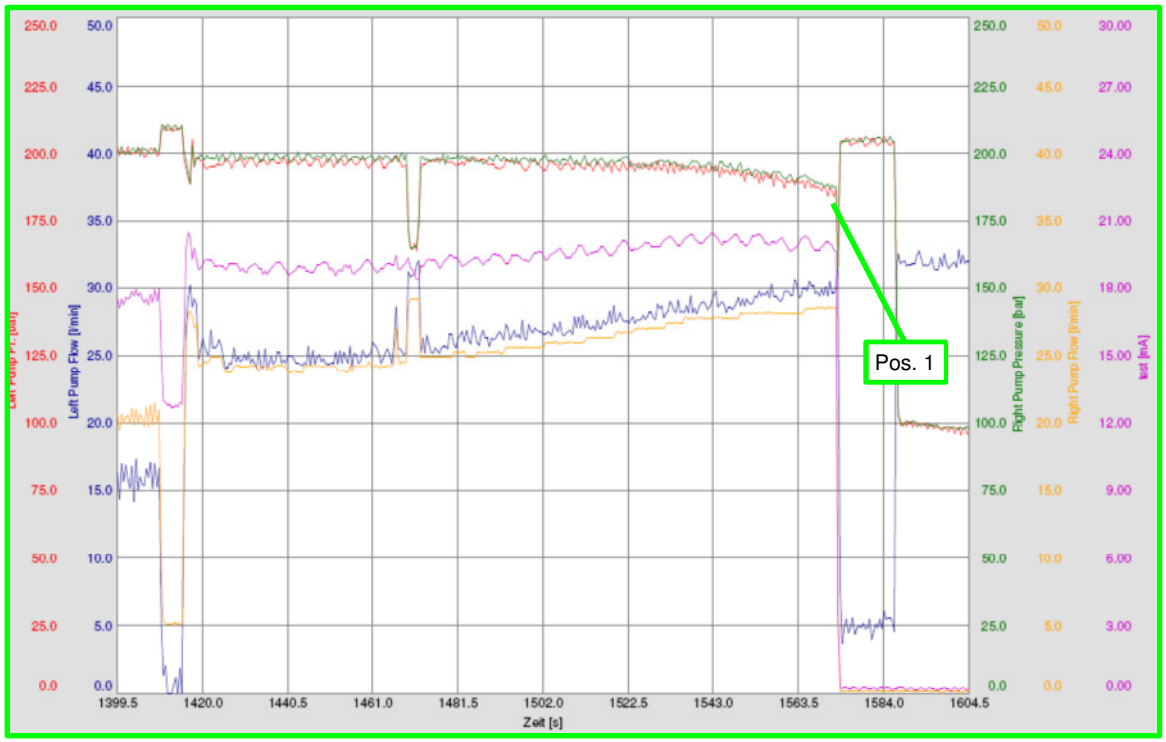


Abbildung 40: Messaufbau Hydraulik

Pos. 1 in Abb. 40 zeigt den Zeitpunkt, zu dem der Motor überlastet wurde und der Motorschutz auslöste.

Durch den oben angeführten Messgraphen wird dargestellt, dass die Anlage beim Hochfahren des Haupterektor (3 m/min) den Aggregaten zu viel Leistung abverlangt.

Lösung 2

Es wurde errechnet, dass durch den Betrieb der FVM mit etwa 3 m/min und Verwendung der Hydraulikzylinder folgenden Ölmengen notwendig sind.

Pumpe Rechts	Druck [bar]	Menge [l/min]	Strom [A]
Max. Ist	210	31	20
Max. Soll	202	?	15,9
Min. Ist	28	5,1	13
Max. Soll	28	?	13

Pumpe Links	Druck [bar]	Menge [l/min]	Strom [A]
Max. Ist	208	29	17,2
Max. Soll	200	?	15,9
Min. Ist	28	1,2	10
Max. Soll	28	?	10

Tabelle 6: benötigte Ölmenge FVM

Da wie beim Verlegeprozess die maximale Verfahrgeschwindigkeit der Erektoren nur 1,5 m/min betragen darf, hat man sich mit dem Kunden geeinigt, die maximale Verfahrgeschwindigkeit der Erektoren auf 2,0 m/min elektronisch zu begrenzen. Dadurch ist die Anschaffung neuer Aggregate nicht mehr notwendig.

4.6.2 Bremsentlüftung Seitenerektor und Grundwagen

Seitenerektor

Bei Messungen der Bremsschaltung am Seitenerektor wurde festgestellt, dass fallweise durch einen Rückstau in der Leitung die Bremsen nicht vollständig entlüftet werden.

Aufgrund dessen wurde ein zusätzliches Bremsentlüftungsventil angebaut.

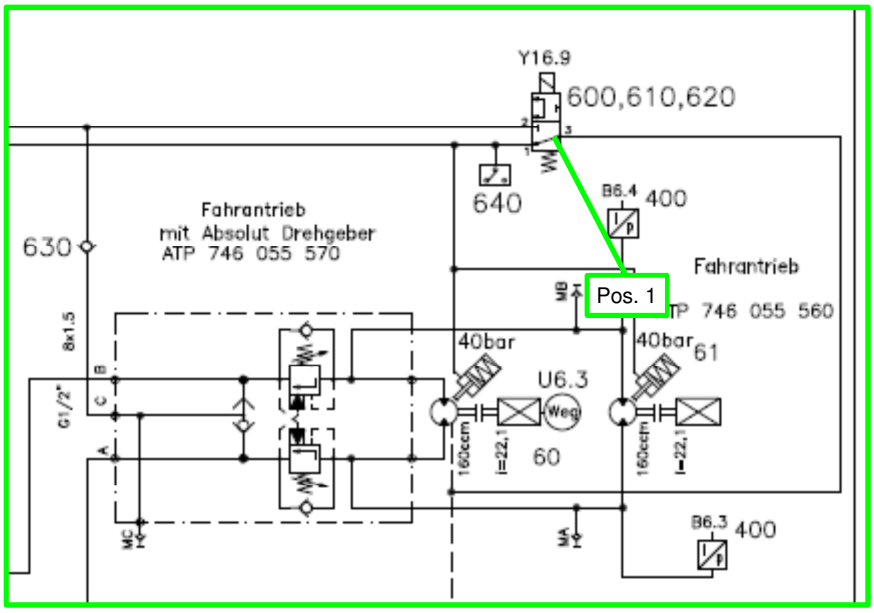


Abbildung 41: Bremsschaltung Seitenerektor

Grundwagen

Da es sich bei dieser Bremse um eine Not-Halt Bremse handelt, wurde für die Bremsansteuerung am Grundwagen ein zweites Bremsentlüftungsventil hinzugefügt um immer einen Bremsentlüftung zu garantieren. Außerdem wird die Bremse mittels Endschaltern überwacht und einprogrammiert, dass sich die Aggregate abstellen, wenn die Bremsen 1.5 sec. geöffnet bleiben obwohl sie nicht angesteuert sind.

4.6.3 Folienabrollung

Die Folienabrollung der Maschine wurde mit einem Hydraulikmotor bestückt, welcher nicht für eine 450 kg schwere Folie geeignet ist. Da im Projekt eine schwerere Folie verwendet wird, wie bei den Tests in Deutschland, entsteht folgendes Problem:

Wenn die Folie an der linken Seite (bei Seitenerektor) hinuntergelassen wird, kann der Motor die Last der abgerollten Folie nicht halten und beginnt durchzurutschen. Dies hat zur Folge, dass nahezu die gesamte Folienbahn abgewickelt wird.

Lösung

Lösung kommt aus dem Windenbau für Schiffe nach dem „Mooring“-Prinzip. Dieses System erlaubt durch den Einbau zweier Rückschlagventile (Abb.42 Pos. 1) und einem druckbeaufschlagtem Entlastungsventil (Abb.42 Pos. 2) mit dem Motor die Folie aufzurollen aber trotzdem die Folie in die andere Richtung abzuziehen.

Die Folie wird bei der Übergabe von Haupt- zu Seitenerektor (siehe Betriebsanleitung) am Seitenerektor befestigt. Fährt man nun mit dem Seitenerektor hinunter, zieht man die Folie mit. Der Folienmotor ist aber immer so angesteuert, dass die Funktion „Aufrollen“ aktiv ist. Mittels dieses Systems kann gewährleistet werden, dass ein unbeabsichtigtes abrollen der Folie nicht möglich ist. Wie stark die Gegenkraft wirkt, wird mittels des Proportionalventils (Abb.42 Pos. 3) bestimmt. Das Öffnen der Bremse ist immer so gesteuert, dass der Motor zuerst „aufzurollen“ beginnt und nach 0,3 sec. die Bremse erst öffnet. Somit ist ein versehentliches Abrollen beim Schalten nicht möglich.

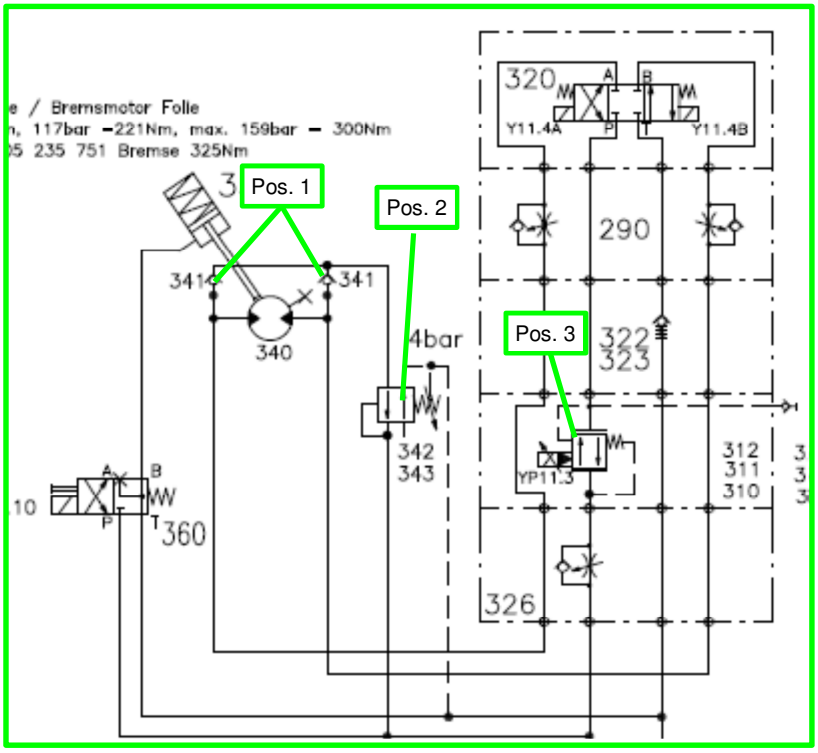


Abbildung 42: Folienabrollmotor mit "Mooring"-Prinzip

4.7 Anpassen der Messsysteme

4.7.1 Gleichlaufsteuerung

Wie schon beschrieben, sind an den Fahrmotoren der Erektoren Absolutwertgeber installiert und diese sind in das Steuerungssystem einzupflegen. Mittels dieser Geber wird die Gleichlaufsteuerung realisiert.

Ein Grund, warum die Gleichlaufsteuerung nicht implementiert war, ist weil einmal ein „Binäre“ codierter Sensor und einmal ein „Gray“ codierter Sensor verwendet wurde. Doch das Auswertemodul benötigt zwei gleiche Sensoren.

Zudem wurden die falschen Bits für das SSI-Datenprotokoll der Drehgeber eingegeben und die Drehrichtungen konnten nicht an den Sensoren abgeglichen werden. Außerdem wurde durch eine Relaisschaltung der Eingang zum Nullsetzen der Sensoren des Öfteren durch das Programm angesteuert.

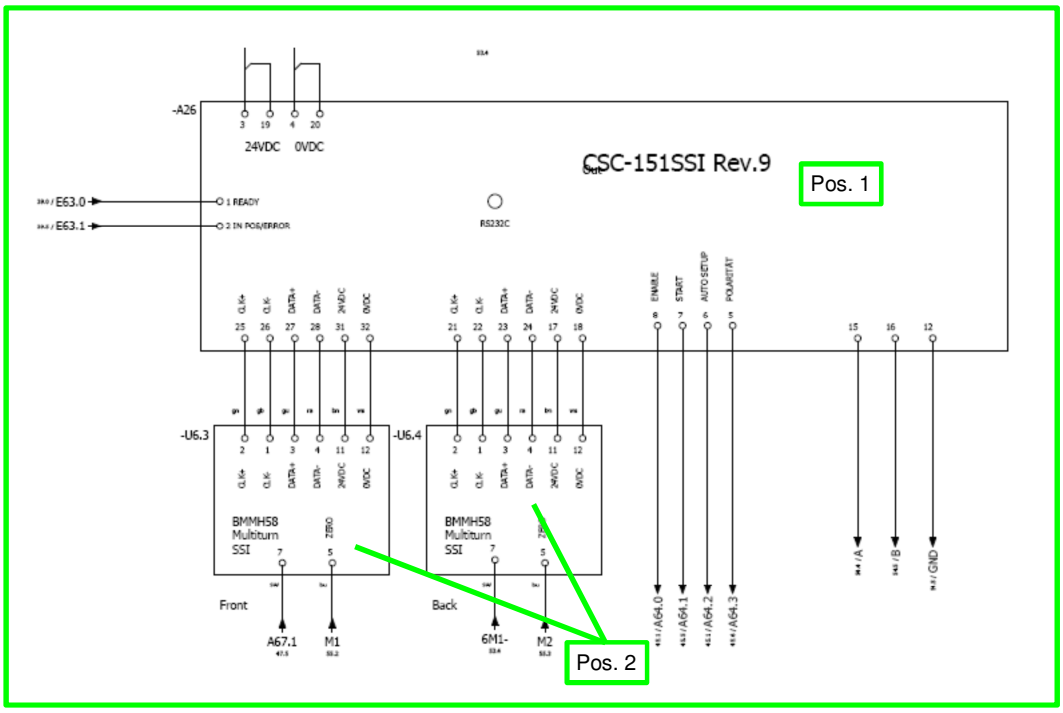
Die Gleichlaufsteuerung ist ein Zusammenspiel von Elektronik und Hydraulik.

Aufbau des Steuerß und Regelsystems

Jeder Erektor besitzt an der vorderen und der hinteren Seite der Maschine jeweils einem Fahrmotor und Absolutwertgeber.

Das Gleichlaufsteuerungssystem besteht in diesem Fall pro Erektor aus

- Auswertemodul (Abb. 43 Pos. 1)
- 2x Absolutwertdrehgeber (Abb. 43 Pos. 2)
- 2x Fahrmotoren (Abb. 45 Pos. 2)
- 1x Steuerventil (Abb. 45 Pos. 1)
- 1x Gleichlaufregelungsventil (Abb. 44/45 Pos. 1/3)
- 1x Proportionalventilverstärkungsmodul (Abb. 44 Pos. 2)



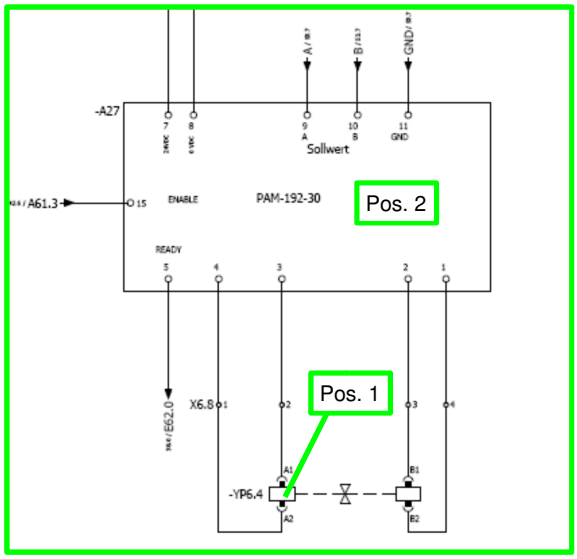


Abbildung 44: Proportionalventilverstär-kermodul

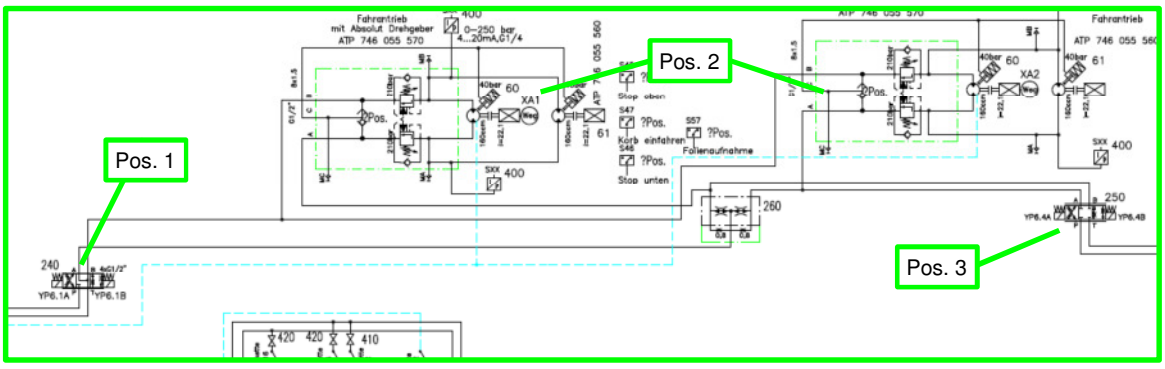


Abbildung 45: Auszug Hydraulikschema FVM Fahrantrieb Haupterektor

Umsetzung der Steuerung und Regelung

Die Ansteuerung der Fahrmotoren der FVM durch das Steuerventil erfolgt proportional. Die Drehzahl und der daraus resultierenden Weg, den die Motoren zurücklegen, werden mittels der Drehgeber und im Auswertemodul erfasst. Das Modul erfasst die Differenz der beiden Drehgeber, zum Ausgleich der Differenz wird das proportional gesteuerte Gleichlaufregelventil angesprochen. Dabei wird die Hochdruckseite des fehllaufenden Motors kurzzeitig zum Tank hin entlastet, somit fällt der zu schnell laufende Motor zurück.

Normalerweise findet dieses System bei Gleichlaufsteuerungen für Zylinder seine Anwendung. Die Herausforderung besteht bei einem proportional angesteuerten Fahrantrieb dieses Systems, die Einstellungen am Modul und die Nullpunktkompensationen der Proportionalventile exakt abzugleichen. Mit den durchgeführten Einstellungen wird eine Gleichlaufgenauigkeit von 3,5mm erzielt.

Der Nachteil bei der Verwendung eines Steuermoduls dieser Art ist, dass nur digitale Eingänge an der SPS angesprochen werden können und somit die Werte der Absolutwertgeber nicht visualisierbar sind. Somit wird von der SPS an das Modul nur eine digitale Information gesendet, welche dem Modul die Freigabe für die Gleichlaufsteuerung erteilt. Das Modul wiederum hat auch nur die Möglichkeit der SPS eine Fehlermeldung digital zu übermitteln. Die eingestellte maximale Fehlertoleranz im Modul beträgt 100 mm, eine größere Abweichung bewirkt die Übermittlung eines digitalen Signals an die SPS. Durch dieses Signal wird im Programm dargestellt, dass der Gleichlauf außerhalb des zulässigen Bereichs geraten ist. Die Maschine wird angehalten und der Bediener durch einen Fehlercode am Display, durch das Blinken der Fahrtasten und durch ein akustisches wie optisches Signal gewarnt. Die Maschine kann dann nur mehr in einem speziellen Not-Bedien-Modus gefahren werden (siehe Steuerung). Durch die feine Einstellung dieser Steuerung ist es von Wichtigkeit, dass bei Aktivierung der Gleichlaufsteuerung die Maschine sich auf Betriebstemperatur befindet. Deshalb ist ein eigner Modus vorgesehen, welcher ein Aufwärmen der hydraulischen Anlage erlaubt. Denn das Steuerungsverhalten bei hydraulischen Ventilen ist stark von der Änderungen der Öltemperatur abhängig.

Einstellungen am Modul

Die Einstellungen am Modul sind individuell und für jeden Sensor anders. Wichtig ist, dass die Schnittstellen richtig eingestellt und der richtige Toleranzbereich festgelegt wurde.

Wesentlich von Vorteil wäre bei dieser Art von Steuerung die SSI-Schnittstelle der Drehgeber direkt in der SPS zu erfassen, doch ist dies aus Kostengründen leider nicht möglich.

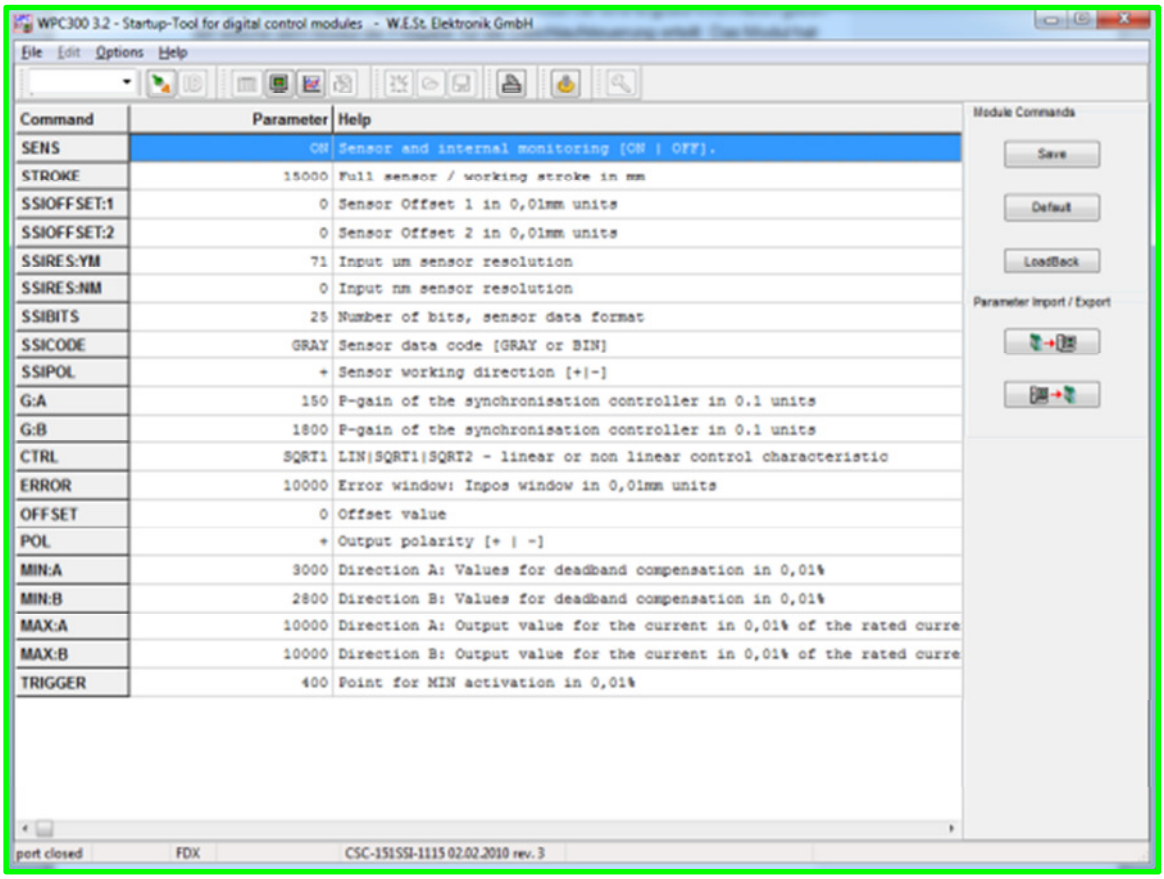

WPC300 3.2 - Startup-Tool for digital control modules - W.E.St. Elektronik GmbH
File Edit Options Help
Command Parameter Help
SENS ON Sensor and internal monitoring [ON | OFF].
STROKE 15000 Full sensor / working stroke in mm
SSIOFFSET:1 0 Sensor Offset 1 in 0,01mm units
SSIOFFSET:2 0 Sensor Offset 2 in 0,01mm units
SSIRES:YM 71 Input um sensor resolution
SSIRES:NM 0 Input nm sensor resolution
SSIBITS 25 Number of bits, sensor data format
SSICODE GRAY Sensor data code [GRAY or BIN]
SSIPOL + Sensor working direction [+|-]
G:A 150 P-gain of the synchronisation controller in 0.1 units
G:B 1800 P-gain of the synchronisation controller in 0.1 units
CTRL SQRT1 LIN|SQRT1|SQRT2 - linear or non linear control characteristic
ERROR 10000 Error window: Inpos window in 0,01mm units
OFFSET 0 Offset value
POL + Output polarity [+ | -]
MIN:A 3000 Direction A: Values for deadband compensation in 0,01%
MIN:B 2800 Direction B: Values for deadband compensation in 0,01%
MAX:A 10000 Direction A: Output value for the current in 0,01% of the rated curre
MAX:B 10000 Direction B: Output value for the current in 0,01% of the rated curre
TRIGGER 400 Point for MIN activation in 0,01%
Module Commands
Save
Default
LoadBack
Parameter Import / Export
port closed FDX CSC-151SSI-1115 02.02.2010 rev. 3

Abbildung 46: Softwareeinstellung am Auswertmodul

Für weitere Informationen zu Software oder Hardware siehe http://www.w-e-st.de/

4.7.2 Messsystem Abstandsmessung zur Tunnelwand

Wie schon beschrieben, ist die Abstandsmessung zur Tunnelwand für die Automatisierung der Maschine sehr wichtig.

An der Maschine waren Ultraschallsensoren verbaut, welche für eine berührungslose Abstandsmessung ideal gewesen wären. Nicht bekannt war jedoch, dass ein Vlies an die Tunnelwand geschossen wird bevor die Folie installiert wird. Das Vlies ist ein textilähnliches Material und hat sehr schlechte Reflexionswerte, was zu Störungen am Messsystem führt und die Maschine dadurch funktionsunfähig macht. Denn gerade die Fähigkeit, den großen Ungleichheiten des Gewölbes mit dem Verlegebalken nachzufahren, macht diese Maschine so einzigartig.

Lösung 1

Eine gefedertes Plattensystem, welches dem Gewölbe durch Federdruck nachfährt.

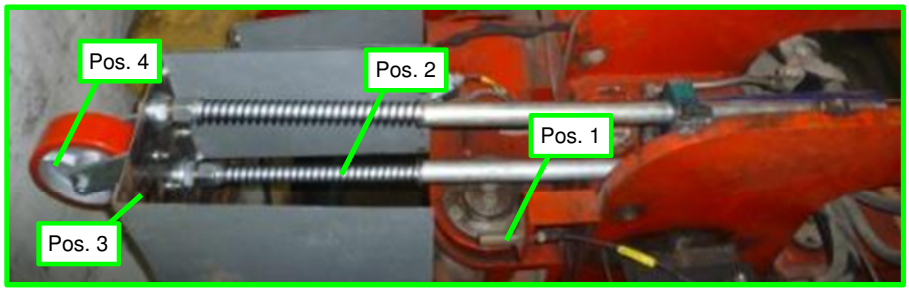


Abbildung 47: Federvorgespanntes Platten Messsystem

Das System ist so aufgebaut, dass die Ultraschallsensoren (Abb.47 Pos. 1) eine Referenzfahrt durchführen und immer den gleichen Abstand zur Platte halten. Durch die Federn fährt die Platte (Abb. 47 Pos. 3) mit Hilfe des Rades (Abb. 47 Pos. 4) immer der Tunnelwand entlang. Das System funktioniert sehr gut für eine Differenz von 23 cm Tiefe auf 4 m Länge Gewölbeunebenheiten. Nur hat sich herausgestellt, dass die Differenzen bis zu 28 cm auf 4 Meter betragen können.

Lösung 2

Da die Räder immer mit einer geringen aber doch konstanten Kraft (430 N) an die Tunnelwand gedrückt werden war die Überlegung die Anpresszylinder als Referenzmarke zu verwenden. Die Ultraschallsensoren finden bei diesem Aufbau dann keinen Platz ohne Bauteil im Messbereich zwischen Tunnelwand und Maschine zu haben. Somit wurde nach einer günstigen Lösung des Problems ohne große Umbauten am System gesucht. Die Lösung ist, anstatt eines Ultraschallsensors 3 einfache Induktive Näherungsschalter einzusetzen.

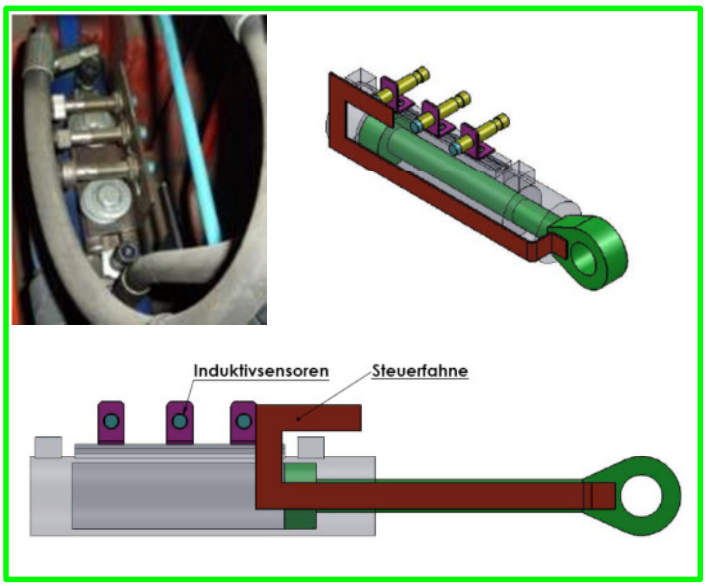


Abbildung 48: Abstandsmessung mittels Induktivsensoren

Steuerung und Regelung der Anpressbalken (siehe Abb. 50)

Das Ziel dieser Steuerung des Anpressbalkens ist es jenen so zu regeln, dass die äußersten Anpresszylinder immer in der Mittelstellung stehen. Dadurch ist es der Maschine möglich, Gewölbeungleichheiten von bis zu 50 cm auf einer Länge von 4 m zu kompensieren. Damit die Zylinder immer in Mittelstellung sind, müssen die Winkelzylinder des gesamten Balkens regelmäßig verteilt werden. Die vordere und die hintere Seite des Verlegbalkens können mittels der Winkelzylinder separat ausgefahren werden.

Die beiden äußersten Anpresszylinder sind mit einem Abstandsmesssystems ausgestattet. Wird die Maschine in den Automatik-Modus geschalten, fahren automatisch die Zylinder der Anpressräder nach außen. Passiert die Steuerfahne den ersten Sensor wird das Programm zur Längenberechnung freigeschaltet, passiert die Fahne den vordersten Sensor, beginnt der Winkelzylinder auszufahren. Die Räder werden nun mittels ihres hydraulisch vorgegeben Drucks an die Tunnelwand gepresst. In der Zwischenzeit sind die Winkelzylinder den Anpresszylindern so lange gefolgt, bis nur mehr der mittlere Sensor durch die Steuerfahne geschalten wird. Nun sind der hinterste und der vorderste Anpresszylinder unabhängig vom unterschiedlichen Tunnelabstand von hinten zu vorne mit Hilfe der nachgefahrenen Winkelzylinder exakt in Mittelposition gebracht. Fährt nun die Maschine nach oben und der Abstand bei den beiden gemessenen Zylindern ändert sich, so wird das Rad, welches ja nur mit 430 N angedrückt wird, nach innen gepresst oder nach außen gedrückt. Je nach Bewegung nach innen oder außen werden der hintere oder der vordere Sensor beansprucht und dementsprechend fährt der Winkelzylinder ein oder aus. Werden aus Fehlergründen keine Sensoren aktiv, schaltet sich das System erst gar nicht ein oder schaltet ab. Die Sensoren haben im Programm alle eine virtuelle Zahl bekommen, welche einen Abstand darstellen und simulieren dadurch eine Wegmessung wie analoge Messwerte von Ultraschallsensoren.

Abbildung 49: Anpressräder Unebenheiten im Gewölbe

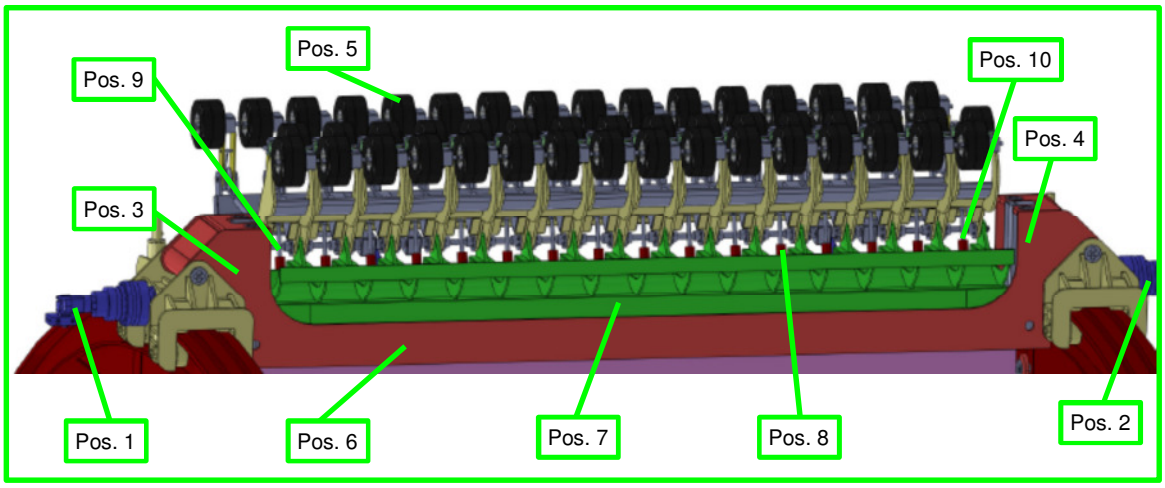


Abbildung 50: Verlegbalken

Legende zu Abb. 50

Pos. 1 Hydraulikmotor „Vorne“ mit Absolutwertgeber
Pos. 2 Hydraulikmotor „Hinten“ mit Absolutwertgeber
Pos. 3 Winkelzylinder „Vorne“
Pos. 4 Winkelzylinder „Hinten“
Pos. 5 Lufträder
Pos. 6 Verlegebalken, starre Verbindung mit dem Antrieb
Pos. 7 Verlegbalken, verstellbar durch Pos. 3 und 4
Pos. 8 Anpresszylinder
Pos. 9 Anpresszylinder mit Induktivsensoren „Vorne“
Pos. 10 Anpresszylinder mit Induktivsensoren „Hinten“

4.8 Programmierung

Wie bereits aufgeführt, wird die Anlage mit der Anwendersoftware „STEP 7“ (Siemens) in der Programmiersprache „AWL“ betrieben.

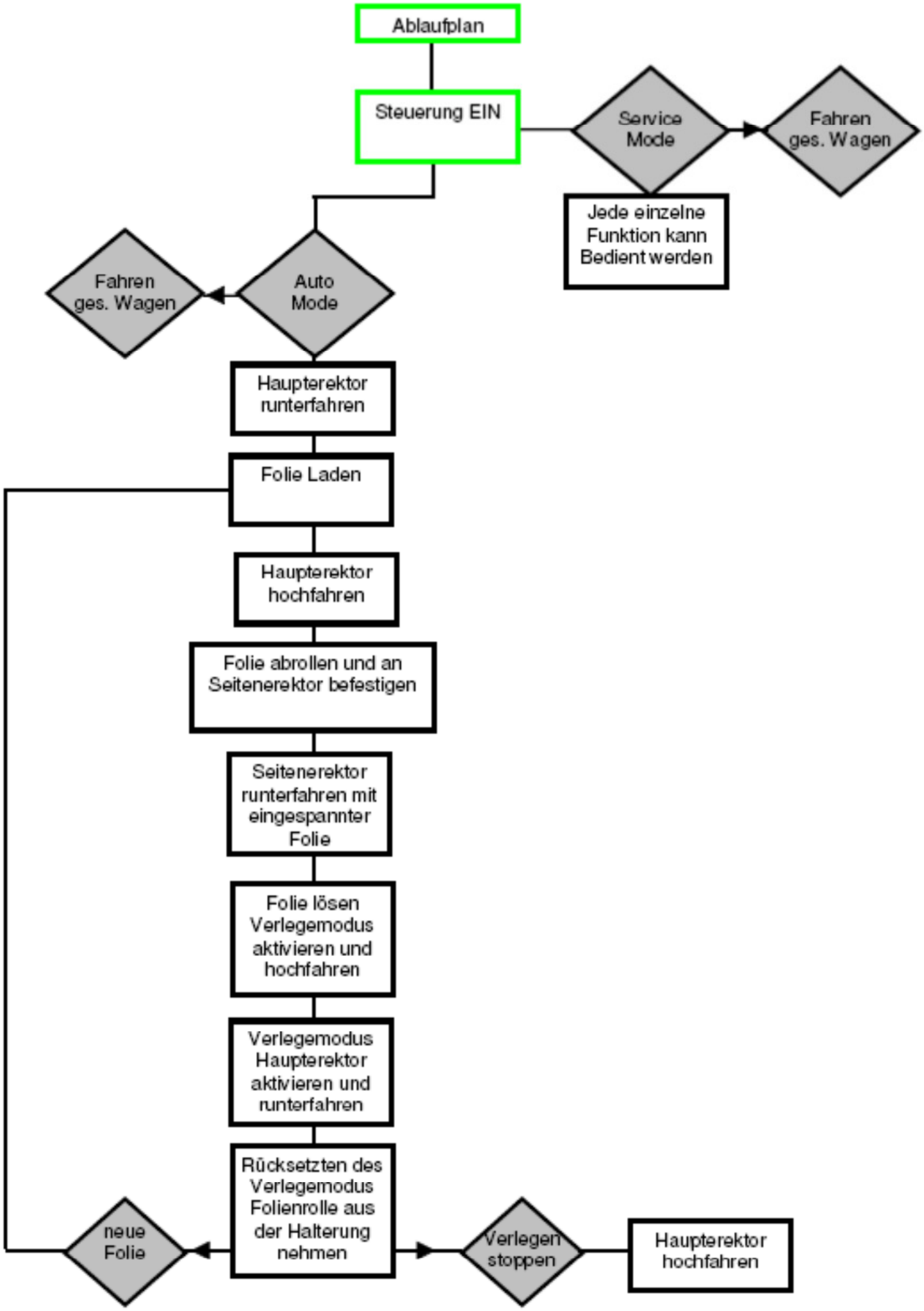
Das vorhandene Programm auf der Maschine wurde analysiert und nach Durchsicht und Testphase sukzessive vollständig gelöscht und neu geschrieben.

Bei der Neuprogrammierung wurde umgesetzt:

1. Alle neuen Funktionen eingepflegt
2. Analogwerte werden in globale Datenbanken eingepflegt
3. In Sprungmarken werden keine Funktionen gesetzt; dies ist sehr gefährlich, denn wird die Maschine durch einen Not-Halt abgestellt oder die Sprungmarke verlassen ohne das Bit abzulöschen, wird der Sprung vermutlich nicht mehr geöffnet und im schlimmste Falle ein gesetzte Ausgang unbeabsichtigt gesteuert.
4. Visualisierung aller Fehlercodes am Display
5. Fehleranalyse mittels Blinkmuster der Leuchten der Taster
6. Not-Betrieb
7. Operationsbausteine für Alarme (Bussystem, Zeiten, Zyklen)
8. Programmstruktur übersichtlicher gestaltet
9. Fernwartung über Ethernet
10. Sicherheitsfunktionen, redundante Abfragen

4.8.1 Erstellung eines Programmablaufschemas

Nach dem einfach dargestellten Ablaufschema wurde ein Systemplan für die Programmierung erstellt und schließlich die Programmierung umgesetzt.



4.8.2 Hardware- und Netzwerkkonfiguration

Den Aufbau der Hardwarekonfiguration zeigt Abbildung 51 Es wurden Analogmodule, Visualisierungsmodule und ein Zugriff der Anlage über Ethernet hinzugefügt.

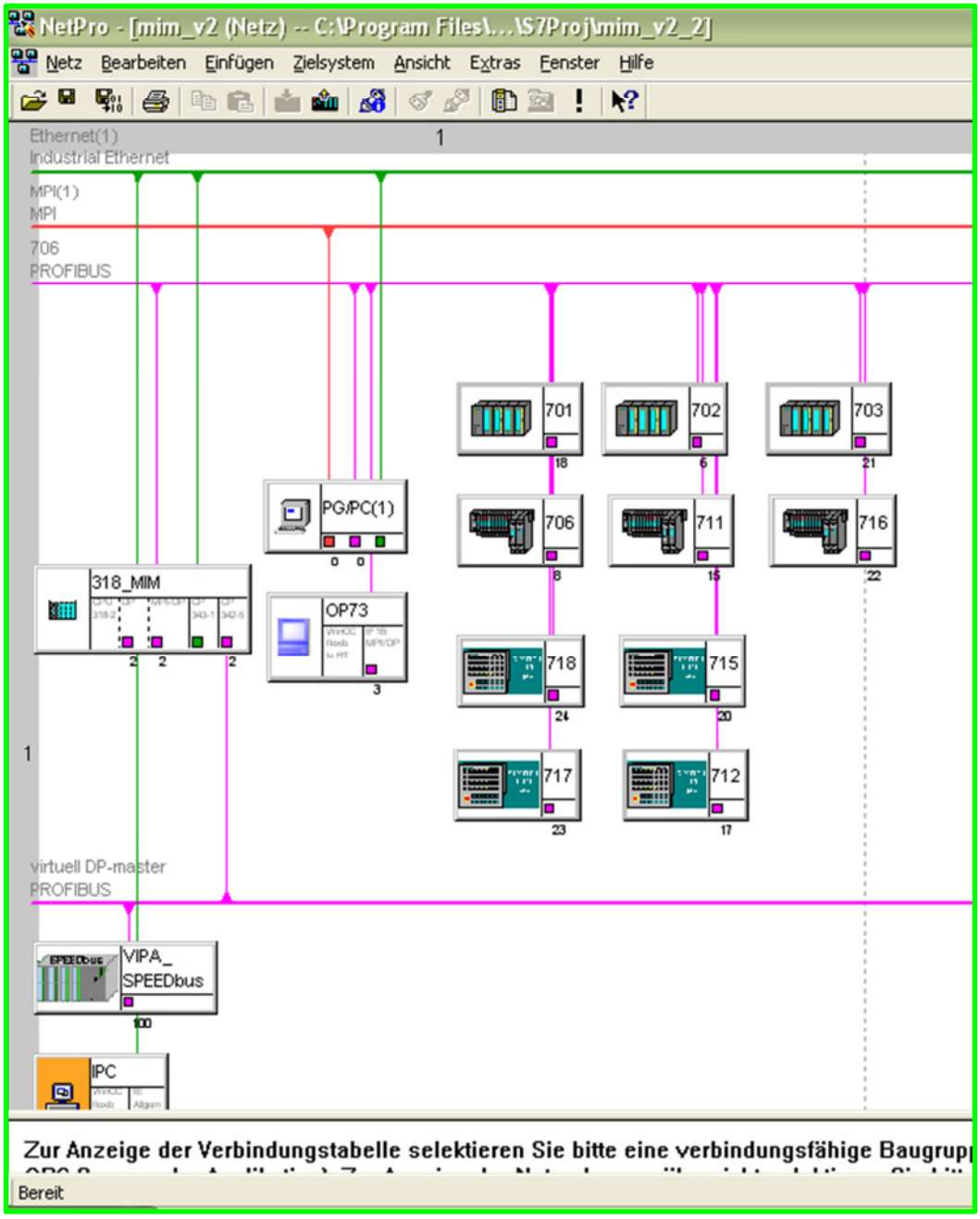


Abbildung 51: Hardware- und Netzwerkkonfiguration

Alle getroffenen Einstellungen sind in der Software nachzulesen.

4.8.3 Auszug des Datenbausteins 201 für die Erfassung von Analogwerten

Es ist von großem Vorteil, alle analogen Werte in einem globalen Datenbaustein zu verwalten, da der Transfer zu Visualisierungsgeräten wesentlich übersichtlicher und einfacher ist. Auch ist es einfacher, Variablen aus einem Datenbaustein öfters anzuwenden. Wird zum Beispiel der Analogwert für das Proportionalventil zum Verfahren des Grundwagens nach der Skalierung angeschrieben und der Prozentwert der Fahrgeschwindigkeit (0-100) für eine prozentuell Anwendung verwendet, müsste der Abgleich zu dem Prozentwert jedes Mal gerechnet werden. Mittels der Anwendung der Werte in einem Datenbaustein wird im Programm nur der benötigte Wert aufgerufen und in die Berechnung transferiert.

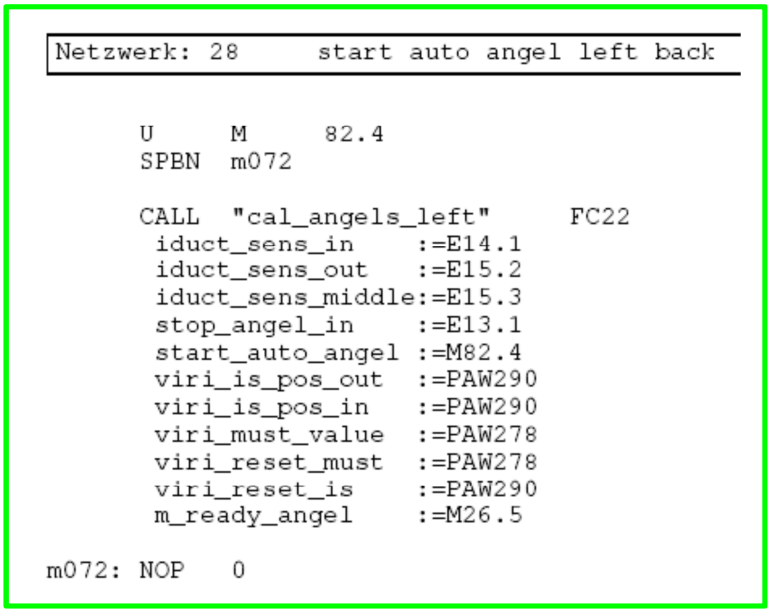
```
Netzwerk: 17     m set speed right down fast

      U     M     81.5
      UN    M     80.1
      UN    M     81.3

      SPBN  sp04
      L     "speed_drive_erector".speeds_erector_fc23_fc24.speed_ri_down_fast


      T     "speed_drive_erector".speeds_erector_fc23_fc24.set_speed_right


sp04: NOP   0


Netzwerk: 19     set moving speed left up

      U     M      7.7
      SPBN  m002

      L     "speed_drive_erector".speeds_erector_fc2
3_fc24.set_speed_right

      ITD
      DTR
      L     2.764800e+002
      *R
      RND
      T     PAW  258
m002: NOP   0
```

Adresse	Name	Typ	Anfangswert
0.0		STRUCT	
+0.0	speeds_erector_fc23_fc24	STRUCT	
+0.0	speed_ri_down_slow	INT	68
+2.0	speed_ri_up_slow	INT	68
+4.0	speed_ri_down_fast	INT	85
+6.0	speed_ri_up_fast	INT	85
+8.0	speed_le_down_slow	INT	40
+10.0	speed_le_up_slow	INT	46
+12.0	speed_le_down_fast	INT	50
+14.0	speed_le_up_fast	INT	85
+16.0	zero_speed_right	INT	30
+18.0	zero_speed_left	INT	30
+20.0	set_speed_right	INT	0
+22.0	set_speed_left	INT	0
=24.0		END_STRUCT	

Abbildung 52: Auszug aus DB 201 und FC26

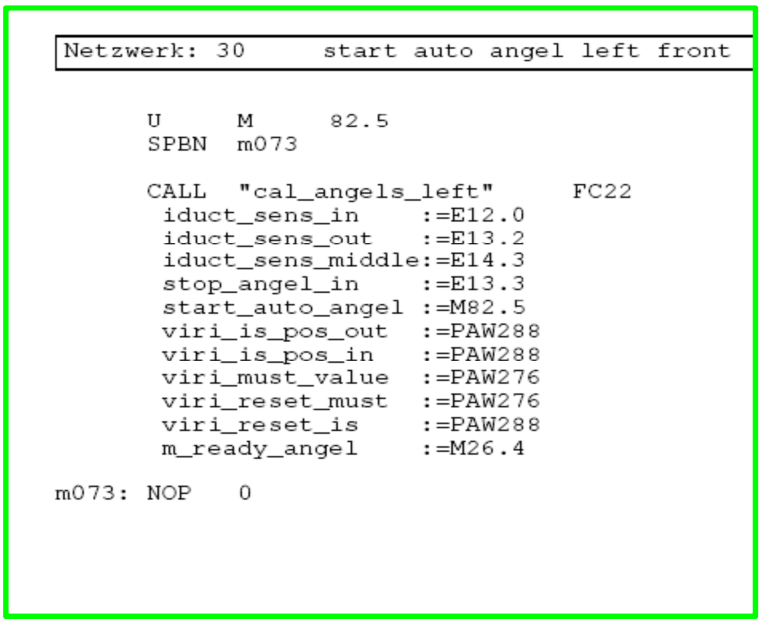
4.8.4 Beispiel für die Verwendung von parametrierbaren Variablen

Es wurde versucht, so viele Funktionen wie möglich mit parametrierbaren Variablen abzuarbeiten. Durch die Anwendung von parametrierten Variablen wird ein Code, welcher für mehrere gleichabzulaufende Funktionen benötigt wird, einmal programmiert und kann dann beliebig oft mit verschiedenen Variablen belegt werden. Abb. 53 und Abb. 54 zeigen die Wegmessungen der Winkelzylinder, welche viermal insgesamt an der Anlage verwendet werden, die Umsetzung der Analogwertskalierung mit parametrierten Variablen erfolgte 18 mal.



```
Netzwerk: 28      start auto angel left back

      U     M     82.4
      SPBN  m072

      CALL  "cal_angels_left"     FC22
       iduct_sens_in     :=E14.1
       iduct_sens_out    :=E15.2
       iduct_sens_middle:=E15.3
       stop_angel_in     :=E13.1
       start_auto_angel  :=M82.4
       viri_is_pos_out   :=PAW290
       viri_is_pos_in    :=PAW290
       viri_must_value   :=PAW278
       viri_reset_must   :=PAW278
       viri_reset_is     :=PAW290
       m_ready_angel     :=M26.5

m072: NOP   0
```

Abbildung 53: parametrierte Variable für die Abstandsmessung der Winkelzylinder „Hinten“



```
Netzwerk: 30      start auto angel left front

      U     M     82.5
      SPBN  m073

      CALL  "cal_angels_left"     FC22
       iduct_sens_in     :=E12.0
       iduct_sens_out    :=E13.2
       iduct_sens_middle:=E14.3
       stop_angel_in     :=E13.3
       start_auto_angel  :=M82.5
       viri_is_pos_out   :=PAW288
       viri_is_pos_in    :=PAW288
       viri_must_value   :=PAW276
       viri_reset_must   :=PAW276
       viri_reset_is     :=PAW288
       m_ready_angel     :=M26.4

m073: NOP   0
```

Abbildung 54: parametrierte Variable für die Abstandsmessung der Winkelzylinder „Vorne“

4.8.5 Analogwerte aufzeichnen

Ein weiterer Vorteil analoge Werte in Datenbausteine zu transferieren, liegt darin, dass jene bei der verwendeten Zentralbaugruppe ohne weitere Einstellung remanent gespeichert werden. Dies wird bei der FVM genutzt, um eine programmierte Datenaufzeichnung von Hydraulikdrücken, Spannungsmessungen, Abstandsmessungen und Zählern durchzuführen. Die gespeicherten Werte können somit für die Voreinstellung von Fahrgeschwindigkeiten, Toleranzunterschieden in der Abstandsmessung und Alarmen für Fehler genutzt werden.

```
Netzwerk: 2      calculate max pressure


// max pressure right back driving up

      L     #pressure_messureing[1, 1]
      L     #pressure_messureing[1, 2]
      <R
      SPB   m001                          //jump
//max
      TAK
      T     #pressure_messureing[1, 2]    //valu
m001: NOP   0
```

	Operand	Symbol	Anzeigeformat	Statuswert
1	// pressure max erectors			
2	DB61.DBD 40	"pressure_view".pressure_messureing[1, 2]	GLEITPUNKT	130.4254
3	DB61.DBD 48	"pressure_view".pressure_messureing[2, 2]	GLEITPUNKT	124.4213
4	DB61.DBD 56	"pressure_view".pressure_messureing[3, 2]	GLEITPUNKT	128.3637
5	DB61.DBD 64	"pressure_view".pressure_messureing[4, 2]	GLEITPUNKT	127.3148
6	DB61.DBD 72	"pressure_view".pressure_messureing[5, 2]	GLEITPUNKT	57.8342
7	DB61.DBD 80	"pressure_view".pressure_messureing[6, 2]	GLEITPUNKT	168.656
8	DB61.DBD 88	"pressure_view".pressure_messureing[7, 2]	GLEITPUNKT	199.7251
9	DB61.DBD 96	"pressure_view".pressure_messureing[8, 2]	GLEITPUNKT	57.40017
1	DB61.DBD 104	"pressure_view".pressure_messureing[9, 2]	GLEITPUNKT	163.9902

Abbildung 55: Analogwerte Aufzeichnen Bsp. Anhand DB61 und FB61

4.8.6 Besonderheiten bei der Programmierung der FVM

Bei der Programmierung der FVM kam es darauf an, nur elektronische Betriebsmittel für die Steuerung zu verwenden, die schon vorhanden waren. Durch die Änderungen an der Maschine wurden alle Funktionen neu geschrieben. Da in einem Programm alle Funktionen miteinander verknüpft sind, kommt es bei einer Änderung in einem Programmabschnitt zu einem fehelenden Programmteil in einem andern Programmabschnitt.

Es mussten teilweise komplexe Funktionen programmiert werden, um die bestehenden Betriebsmittel richtig zu steuern und zu regeln, weil jene nicht für die abgeänderten Aufgaben ausgelegt sind. Besonders betroffen sind die Funktion der Folienabrollung, die Funktion Not-Betrieb, Fahrantriebe, Bremsansteuerungen, Not-Abschaltung und Funktionen für die Verarbeitung von Messdaten.

All diese Funktionen können im Programm nachgelesen werden und sind in der Betriebsanleitung sowie den Hydraulik- und Elektroschemen erklärt.

4.8.7 Bedienung der Maschine

Die Maschine ist mittels vier Tastpanels ausgestattet, zwei im Korb am Hpt.-Erektor und zwei am Seitenerektor. Weiteres hat die Maschine am Hpt.-Schrank noch ein mit einem Display ausgestattetes Bedienpanel.

Mittel der vier Tastpanels oder des Bedienpanels wir die Maschine bedient.

Die Maschine ist wie in der Einleitung beschrieben mit einem „Automatik“ Modus und einem Service Modus ausgestattet der Automatik Modus wurde soweit optimiert, dass die gesamte Maschine mit den richtig vorgewählten Tasten nur mehr mit einem Tastern zu bedienen ist (rauf oder runter fahren), alles weitere erledigt die Programmierte Steuerung. Mittels des Bedienpanels, kann die gesamte Anlage im Service oder Automatik Modus bedient werden und Fehler ausgelesen werden.

Detaillierte Beschreibungen der Funktionen sind in der Bedienungsanleitung der Maschine beschrieben.

4.9 Einrichten der Fernwartung

Das Einrichten der Fernwartung wurde durch den Einsatz von Richtfunkantennen und dem vorhanden *„Ethernet“* im Tunnel umgesetzt.

Die Zentralbaugruppe ist *„Ethernet“* fähig und mit der statischen IP Adresse 192.168.1.100 konfiguriert. Ein *„W-Lan“* Router fungiert als „Client Bridge“ und ist mit der statischen IP Adresse 192.168.1.68 konfiguriert. Der Router ist als „Switch“ konfiguriert und erlaubt an den LAN Schnittstellen den Zugriff auf die IP Einstellungen von Router 2. Die Zentralbaugruppe und ein PC mit der IP Adresse 192.168.1.101 sind direkt an die LAN Buchsen mittels eines Ethernet Kabels angeschlossen. Der Router ist zusätzlich mit einer Richtfunkantenne ausgestattet welcher eine Kommunikation zu einem andern „W-Lan“ Router mit Richtfunkantenne herstellen kann. Der zweite Router kann an allen Switch-Boxen im Tunnel welche alle 1000 m zur Verfügung stehen angeschlossen werden und ist mit einer statischen IP-Adresse 10.20.1.241 konfiguriert und verteil im „W-Lan“ ein Netz mit einen statischen IP Adressen Bereich von 192.168.1.1-192.168.1.150. Router Nr. 2 hat eine Port Weiterleitung auf den PC 192.168.1.101 eingestellt. Somit kann im gesamten Ethernet NIA05 (Hpt.-Server mit IP Adresse 10.20.1.1) auf die Zentralbaugruppe der Maschine über den PC an der Maschine mittels der IP 10.20.1.241 und dem Port 8002 zugegriffen werden. Aufgrund dessen, dass die Maschine sich im Tunnel befindet und die Fehlerquelle oft nicht genau bekannt ist, welche Betriebsmittel beschädigt sind, kann mittels der Fernwartung der Betriebszustand der Maschine beobachtet werden und festgestellt werden ob es sich um ein Problem in der Steuerung oder in der Mechanik handelt. Somit kann das richtige beschädigte Betriebsmittel erkannt und gleich in den Tunnel mitgebracht werden.

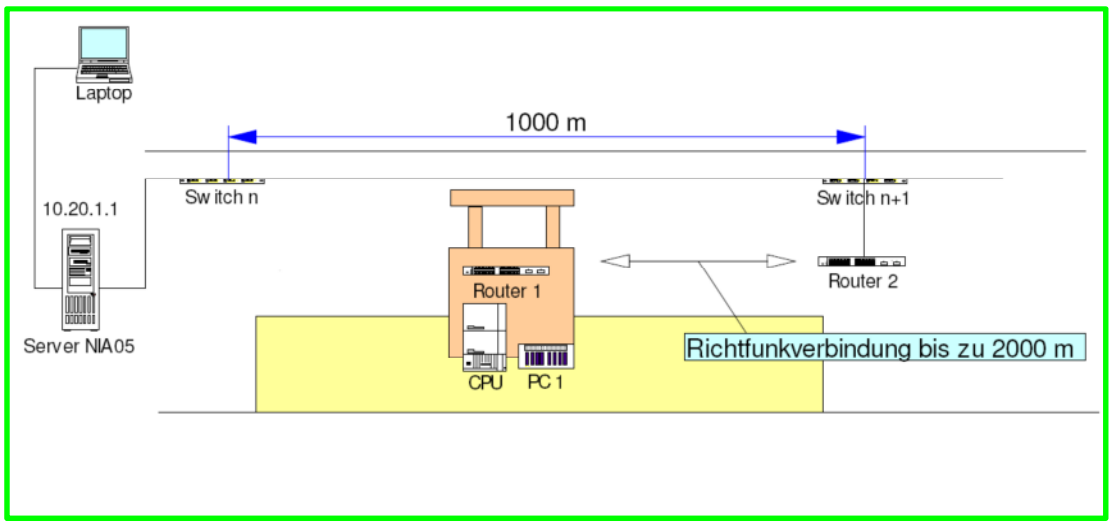


Abbildung 56:Fernwartung

5 Schlussfolgerungen

Das Projekt „Neuentwicklung FVM“ stellte eine besondere Herausforderung dar.

Die Bedingungen, unter welchen die Maschine neu entwickelt wurde, waren erschwert durch den enormen Zeitdruck, die stark begrenzte Anzahl an Fachkräften und die infrastrukturellen Randbedingungen (die Maschine war bereits während der „Neuentwicklung“ im Tunnel aufgebaut).

Obwohl einige Komponenten nach wie vor nicht für den Einsatz in der FVM optimiert sind, erreicht die FVM schlussendlich die vom Kunden geforderte Leistung und sogar darüber hinaus.

Nach der „Neuentwicklung“ kann durch die FVM mit zwei Bedienern in einer 12 Stunden-Schicht vollautomatisch bis zu 17 Folienbahnen - bei einer Toleranz im Gewölbe von bis zu 55 cm auf 4 m Länge - verlegt werden. Dies entspricht in etwa einer mit Folie bestückten Fläche von 2.054 m². Somit erfüllt die FVM mehr als das Doppelte der vorgegebenen Leistung. Die FVM ist komplett wartungsfrei in Bezug auf steuerungs- und regelungstechnische Betriebsmittel. Es sind keine laufenden Änderungen oder Abgleiche an der Maschine notwendig. Lediglich bei einer allfälligen Fehlersuche oder im Zuge des halbjährlichen Services (siehe Betriebsanleitung) sind an der Maschine Einstellungen erforderlich.

5.1 Kritik an der Maschine

Die FVM ist zwar voll funktionsfähig, jedoch sollte bei künftigen Konzipierungen derartiger Maschinen folgendes beachtet bzw. durchdacht werden.

5.1.1 Bedienung

Die Bedienung der FVM soll vereinfacht werden. Zurzeit ist die FVM mittels der vier Tastpaneele zu bedienen. Jede Funktion an der Maschine kann durch „Rauf“ und „Runter“ definiert werden, egal ob im Service- oder im Automatikbetrieb. Deshalb wäre es wesentlich einfacher, einen Drehschalter wie z.B. bei einer Waschmaschine zu installieren, mit dem die gewünschte Funktion angewählt werden kann und danach lediglich eine „Rauf“ oder „Runter“ Taste zu drücken ist. Dies ist programmier-, steuer- und regeltechnisch möglich. Das bestehende Programm ist bereits darauf vorbereitet, es muss lediglich die neuen Bedieneinheiten installiert und einige wenige Konfigurationen im Programm vorgenommen werden.

5.1.2 Elektronische Komponenten

In der Maschine sind einige elektronische Komponenten eingebaut, welche durch eine effektivere Anwendung der SPS-Einheiten eingespart werden können. So ließen sich beispielsweise die teuren Auswertemodule der Drehgeber der Gleichlaufsteuerung einsparen, indem man die SSI-Schnittstelle der Drehgeber direkt mit einem wesentlich günstigeren SPS-Modul in die Anlage implementiert. Der weitere Vorteil wäre, dass die Informationen im SPS-Programm direkt verarbeitet werden und somit die Darstellung der Position der Erektoren möglich ist.

Das Gleiche gilt für die Auswertemodule der Wegmesssensoren in den Hubzylindern und dem Winkelmesszylinder.

5.1.3 Antriebs Komponenten

Alle Erektoren werden mittels Hydraulikmotoren angetrieben. Moderne Antriebe verwenden Elektromotoren, die kleiner, kostengünstiger und noch dazu wartungsfrei sind. Die Regelung erfolgt über Frequenzumrichter und jene können ohne größeren Aufwand mittels der SPS gesteuert werden. Dasselbe gilt für den Motor der Folienabrollung.

5.1.4 Verlegeeigenschaft

Der gesamte Erfolg der Folienverlegung liegt im Prinzip in der Kenntnis, mit welcher Kraft, Vibration, Geschwindigkeit und mit welchem Anpressmittel die Folienbahn an das Klett zu drücken ist. Diese Eigenschaften müssen bei einer weiteren Entwicklung einer Maschine bereits schon im Vorhinein bestimmt werden.

Hierzu wäre die theoretische Berechnung und eine weitere Ausarbeitung des beschriebenen Systems unter Punkt 3.5.1 und Punkt 3.6 fertigzustellen und in die Praxis umzusetzen. Durch die Fertigstellung dieser theoretischen Annahme kann eine weitere Maschine wesentlich kostengünstiger und mit einem geringeren Aufwand hergestellt werden.

5.2 Langzeitbeobachtungen

Durch ständige Inspektionen und Beobachtungen der Maschine konnten viele Erfahrungswerte bezüglich Langzeitauswirkungen von Betriebsmitteln unter den vorhandenen Umweltbedingungen gesammelt werden.

5.2.1 Elektrik und Elektronik

Der Einsatz von Lüfterelementen und Heizungssystemen in Schaltschränken sind unter diesen Bedingungen mit den verwendeten Komponenten nicht notwendig und führt zu Komplikationen an der Anlage. Die verwendeten Kabelisolierungen werden durch die im Tunnel vorhanden Bedingungen (Spritzbeton, Staub, Rußpartikel) nach ca. einem Jahr sehr spröde. Dies führt teilweise bei Kabeln, welche ständig bewegt werden, zu Beschädigungen an der Isolierung. Verschiedene Kabelisolierungen sind weiterhin in Erprobung. Das Ergebnis hierzu liegt zum Zeitpunkt noch nicht vor.

5.2.2 Mechanische Bauteile

Die Maschine ist wie schon oben beschrieben wartungsfrei in Bezug auf Elektrik und Elektronik, allerdings mussten die Wartungsintervalle im Bereich der Mechanik aufgrund der starken Verschmutzungen im Tunnel wesentlich verkürzt werden. Durch eine regelmäßige Wartung an mechanischen Bauteilen und der Optimierung des Wartungs- und Inspektionsplans ist die Maschine ein zuverlässiges Arbeitsgerät und erfüllt die Erwartungen des Kunden.

Die Getriebeeinheiten, Bremsen und Hydraulikzylinder sind so anzubauen, dass jene leicht austauschbar sind und nicht feste Bestandteile der Stahlkonstruktion aufwendig demontiert werden müssen um die beschädigten Betriebsmittel tauschen zu können.

Literaturverzeichnis

1, A. Z. (2009). *Aufbau Tunnelbahn mit elektrischer leitfähiger Schicht.* Bad Hall: Agru Kunststofftechnik.

Arakanga. (2012). *Arakanga, Stichwort Maschinenrichtlinie*. Abgerufen am 26. März 2012 von http://arakanga.de/maschinenrichtlinie/#c1136

ATP, 2. (2007). *hydraulische Motoren.* Küssnacht : ATP.

Bauer, G. (2009). *Ölhydraulik.* Wiesbaden: Vieweg.

BAYSTAG. (2010). *Berechnung Bremssystem FVM.* Wildpoldsried: BAYSTAG.

Berger, H. (2009). *Automatisieren mit Step 7 in AWL und SCL.* München : Siemens.

Bergmann, W. (2008). *Werkstofftechnik 1- Polymerwerkstoffe.* Hanser.

Berties, W. (2007). *Übungsbeispiele aus der Wärmelehre.* München: Hanser.

Bodo Heimann, W. G. (2007). *Mechatronik, Komponenten - Methoden - Beispiele.* Wien: Hanser.

Böge, A. (1999). *Das Techniker Handbuch.* Braunschweig: Vieweg.

CNA. (kein Datum). *www.cna.ca*. Abgerufen am 30. 04 2012 von http://www.cna.ca/curriculum/cna_world_energy_res/hydro-eng.asp?bc=Hydroelectricity&pid=Hydroelectricity

Direktion, B. G. (2008). *Angebot Folienverlegemaschine fuer NTFP.* Trumau / Austria.

Engel, F. (8. Februar 2012). (K. Weinhardt, Interviewer)

Foerstner, P. D. (2008). *Umweltschutztechnik.* Heidelberg: Springer.

Folimat. (kein Datum). *www.folimat.de*. Abgerufen am 03. 05 2005 von http://www.folimat.de/

Gabler Verlag (Herausgeber). (kein Datum). *Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort Maschine.* Abgerufen am 25. März 2012 von http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/13422/richtlinie-r-v6.html

Gabler Wirtschaftslexicon (Herausgeber). (kein Datum). *Gabler Wirtschaftslexicon, Stichwort Richtlinie.* Abgerufen am 25. März 2012 von http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72568/maschine-v6.html

Goldhahn, P. D.-I. (2010). *Ablauforganisation in Projekten.* Mittweida: HTWM Mittweida.

Günter Wellenruth, D. Z. (2009). *Automatisieren mit SPS Theroie und Praxis.* Heidelberg: Vieweg+Teubner.

Heidenhain, D. J. (2012). *Drehgeber*. Abgerufen am 13. April 2012 von http://pdf.directindustry.de/pdf/dr-johannes-heidenhain-gmbh/drehgeber/155-89-_64.html

Hüning, K. S. (2009). *Die neuen EG-Maschinenrichtlinie.* Köln: Bundesanzeiger Verlag.

Hyder, L. R. (2009). *Elektrische Ausrüstung von Maschinen und maschinelle Analgen.* Berlin, Offenbach: VDE Verlag.

Hydraulik, A. (2011). *Pumpenübersicht.* Küssnacht: ATP.

Ineltek. (2012). *Ineltek*. Abgerufen am 26. 04 2012 von http://www.ineltek.com/de/products/as_rotaryencoder.php

Käser, E. (2007). *Sesnsorik*. Abgerufen am 24. 04 2012 von http://www.fachlexika.de/technik/mechatronik/sensor.html

Kiefer, G. (2009). *VDE 0100 und die Praxis.* Karlsruhe: VDE .

Murck, B. W. (2005). *Environmental Science.* Wiley.

niagarafrontier. (kein Datum). Abgerufen am 22. April 2012 von http://www.niagarafrontier.com/tunnel.html

Nietsche, D. (2009). *Spezifikationen Abdichtungsmembrane.* Bad Hall - Austria: Agru Kunsstofftechink.

NXP. (2009). KMZ43T Magnetic Fiel Sensor. *NXP*, 8.

OPG. (kein Datum). *www.opg.com*. Abgerufen am 30. 04 2012 von http://www.opg.com/power/hydro/niagara_plant_group/adambeckpgs.asp

Siemens. (1997). *Schalten, Schützen, Verteilen in Niederspannungsnetzen.* Berlin: Siemens.

Volker Krey, A. K. (2009). *Praxisleitfaden Produktsicherheitsrecht.* München Wien: Carl Hannser Verlag.

Wallner. (kein Datum). *Geschichte der Wasserkraft*. Abgerufen am 29. 04 2012 von http://pluslucis.univie.ac.at/FBA/FBA00/wallner/p06_9.htm

Wannenmacher H., e. (2012). Improved Monitoring Concept for Hydrotunnels in roc. *Swiss Tunnel Congress 2012*.

Weidauer, J. (2011). *Elektrische Antriebstechnik.* Berlin: Siemens.

Weinhardt, A. K. (2010). *Handbuch der Folienverlegmaschine.* Kanada: ATP.

Winter. (kein Datum). *www.winer-markiertechnologie.com*. Abgerufen am 03. 05 2012 von http://www.winter-markiertechnologie.com/index.php?id=175

Anlagen

Teil 1 ..... A-103

Teil 2 ..... A-107

Teil 3 ..... A-111

Teil 4 ..... A-113

Anlagen, Teil 1

Generelle Beschreibung hydraulische Pumpen

„Hydrostatische Pumpen – in DIN ISO 1219 Hydropumpen genannt - wandeln die Bereitgestellte mechanischen Energie in hydraulische Energie um. Wegen den in der Ölhydraulik üblichen hohen Betriebsdrücken (meist über 50 bar) und kleinen Förderströmen (meist unter 5l/s) eignen sich die sonst so erfolgreichen hydrodynamischen Pumpen (Kreiselpumpen) nicht, sondern es werden Pumpen benutzt, die nach dem Verdrängungsprinzip arbeiten. Die Verdrängungspumpen – auch volumetrische Pumpen genannt - arbeiten wie folgt:

Ein Verdrängungsraum - z.B. in einem Zylinder mit bewegtem Kolben – ist, während er sich vergrößert, mit der Ansaugleitung verbunden und füllt sich auf. Wenn er sich wieder verkleinert, wird er auf die Ausstoßseite umgeschaltet und verdrängt dann die Flüssigkeit. Die notwendigen Umschaltungen werden je nach Bauart durch federbelastete Ventile (Rückschlagventile) oder häufiger durch Schlitze oder Kanäle in bewegten Wänden gesteuert.“((Bauer, 2009) Seite 73).

Axialkolbenpumpe

„Axialkolbenpumpen sind Verdrängungsmaschinen, in welchen die Kolben parallel zur Drehachse einer Zylindertrommel angeordnet sind. Die Umsetzung der Antriebsdrehbewegung in eine Kolben-Hubbewegung erfolgt nach unterschiedlichen Grundprinzipien.

Bei der *Schrägscheibenpumpe* wird die Zylindertrommel angetrieben, wobei sie die darin geführten Kolben ebenfalls in Drehrichtung versetzt. In axialer Richtung wird die Bewegung der Kolben von einer im Gehäuse gelagerten Schrägscheibe bestimmt, welche um die Senkrechte der Antriebsachse geschwenkt wird. Die rotierenden Kolben bewegen sich auf einer Ellipsenbahn gegen die feststehende Schwenkscheibe. Reibung wird durch Gleitschuhe oder Axiallager beherrscht. Während der Saugphase bewegen sich die Kolben nach außen und werden über eine Rückhalteeinrichtung gegen die Schrägscheibe gehalten, während der Druckphase von dieser nach innen gedrückt. Die Richtung der einzelnen Kolbenförderströme bzw. die Zuordnung zu einem Druck- und Sauganschluss erfolgt über eine Schlitzsteuerung. Diese ist einer feststehenden Steuerplatte angeordnet, gegen welche die Zylindertrommel mit ihrer freien Stirnfläche rotiert.

Bei der *Schrägachsenpumpe* wird die Zylindertrommel über die Kolben und diese wiederum über den Triebflansch angetrieben. Die Zylindertrommel ist entweder über einen Mittelzapfen oder über Nadellager am Umfang geführt und wird aus der Achse der Antriebswelle geschwenkt. Das Prinzip ermöglicht reversierbare Pumpen. Die Verbindung zwischen Kolben und Triebflansch erfolgt über eine Kugelgelenk-Verbindung, über welche

die Kolben während der Saugphase angezogen und während der Druckphase in die Zylinderbohrungen gedrückt werden. Zwischen dem eigentlichen Kolben und dem Kugelgelenk ist eine weitere Gelenkverbindung erforderlich (Ausgleich von Kreis- und Ellipsenbahn). Die Trennung von Saug- und Druckseite erfolgt wie bei der Schrägscheibenpumpe über eine Schlitzsteuerung. Die Steuerplatte (flach oder sphärisch) schwenkt mit der Zylindertrommel, d. h. der Druckanschluss muss durch das Schwenklager hindurch oder über eine dichtende Gleitführung der Steuerplatte geführt werden. Das Ansaugen ist direkt aus dem umgebenden Gehäuse möglich (nur bei einer Förderrichtung). Bei Varianten der beschriebenen Ausführung erfolgt der Antrieb der Zylindertrommel über ein Kardangelenk oder über Kegelräder.“ (Hydraulik, 2011) Seite 16.

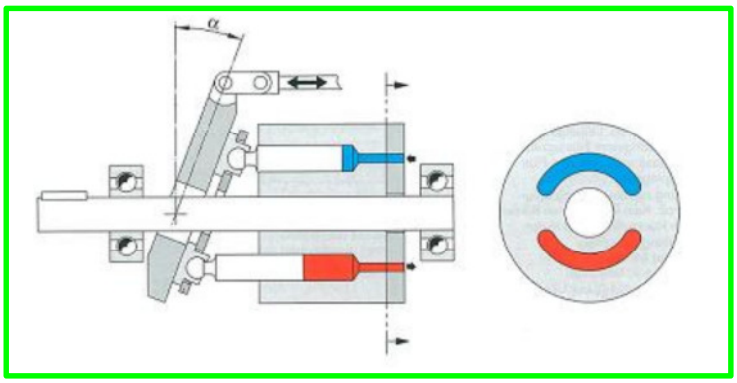


Abbildung 57: Axialkolbenpumpe

Definition Hydraulikmotoren

„Hydraulikmotoren haben die Aufgabe, hydraulische Energie (Druck + Flüssigkeitsstrom) in mechanische Arbeit umzuwandeln. Dabei treibt die Druckflüssigkeit die Verdrängungselemente wie Kolben, Flügel oder Zahnräder an. Es existiert hierzu eine Vielzahl von Bauarten, die in ihrer Arbeitsweise in eine oder zwei Drehrichtungen und in Konstant- und Verstellmotoren eingeteilt werden können. Sie werden häufig baugleich zu Hydraulikpumpen produziert. Grundsätzlich haben die Hydraulikmotoren die gleichen Kenndaten wie die Hydraulikpumpen, jedoch spricht man bei diesen nicht von einem Verdrängungsvolumen, sondern von einem Schluckvolumen. Das Einsatzgebiet ist ausschlaggebend für die Dimension und Leistung eines Hydromotors. Die Größe eines Motors wird mit der Nenngröße angegeben. Während das Moment durch Lastdruck und Schluckvolumen bestimmt wird, hängt die Drehzahl von zugeführtem Volumenstrom und Schluckvolumen ab.“ ((ATP, 2007) Seite 13)

Definition Gerotormotoren

„Gerotormotoren sind langsam laufende Hydraulikmotoren mit hohem Drehmoment. Die Leistungszelle dieser Motoren ist der Rotorsatz, bestehend aus Rotor, Außenring (Stator) und mehreren Rollen. Das patentierte Rotor-Profil verhindert die direkte Leckage zwischen den Druckkammern, was zu geringen internen Leckage und hohen volumetrischen Wirkungsgraden führt. Die Antriebssätze der Hydraulikmotoren bestehen aus einem Ge-

häuseteil mit innerer Verzahnung und einem Zahnrad, dessen Mittelpunkt bei der Rotation um den Mittelpunkt des Zahnkranzes kreist. Seitlich vom Antriebssatz ist der Teller - resp. Verteilerventil angeordnet. Das Verteilerventil wird synchron mit dem Zahnradsatz angetrieben, damit das Füllen und Entleeren der einzelnen Kammern präzise und ohne Verluste erfolgt. Dieses ist von der Abtriebswelle getrennt und wird von einer kurzen Kardanwelle separat angetrieben.“((ATP, 2007) Seite 13).

Verlustleistungen

„Die Verlustleistung einer hydraulischen Anlage wird in Wärme abgegeben. Die Verlustleistung P_V ergibt sich - wie bei allen physikalischen Systemen - aus der zugeführten Leistung P_{zu}, welche entgegengesetzt der abgeführten Leistung P_{ab} steht.

$$P_V = P_{zu} - P_{ab}$$

Formel 31: Verlustleistung

Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage ergibt sich aus den Einzelwirkungsgraden der Pumpe η_{tPu} , des Motors η_{tMo} und des Leistungs- und Steuerungssystems η_{tL} zu

$$\eta_{tPu} = \eta_{tPu} * \eta_{tL} * \eta_{tMo}$$

Formel 32: Gesamtwirkungsgrad hydr. Anlage

Damit wird der anfallende Wärmestrom ϕ

$$\phi = P_V$$

Formel 33: Wärmestrom

Die in der Zeit Δt anfallende Wärmemenge wird“

$$Q_W = \phi * \Delta t$$

Formel 34: Wärmemenge

((Bauer, 2009) Seite 69)

Erwärmungsvorgang einer hydraulischen Anlage

„Die gesamte fanfallende Wärmemenge wird zuerst teilweise in der Anlage gespeichert und teilweise an die Umgebung abgeführt. Mit zunehmender Erwärmung der Anlage wird der an die Umgebung abgegebene Teil anwachsen, bis schließlich nach Erreichen der maximalen Endtemperatur ϑ_{emax} der ganze Wärmestrom an die Umgebung abgegeben wird. Abb. 58 zeigt den Erwärmungsvorgang und die anschließende Abkühlung nach Abschalten der Anlage von der Endtemperatur ϑ_{emax} aus. Mit gestrichelter Linie ist die Abkühlungskurve gezeichnet, die sich ergibt, wenn bei der Temperatur ϑ_e vor Erreichen der maximalen Endtemperatur ϑ_{emax} abgeschaltet wird.“((Bauer, 2009) Seite 69)

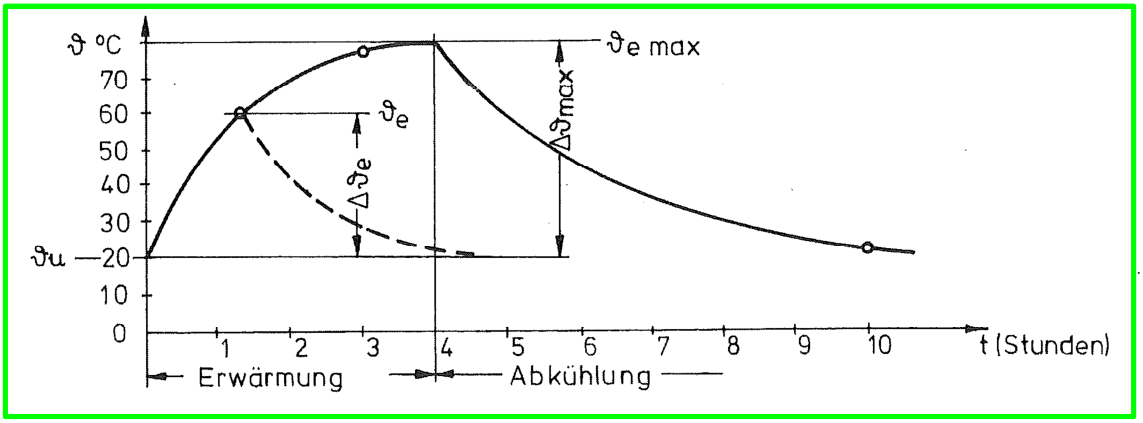


Abbildung 58: Erwärmungs- und Abkühlungsverlauf einer hydr. Anlage

Um auf der sicheren Seite zu liegen, werden für die überschlägige Berechnung der Wärmeabgabe nur die benetzten Seitenflächen des Behälters berücksichtigt. Die Wärmeabgabe der Rohre und Bauelemente der Anlage ist sehr schwer zu erfassen, da sie von der Rohrverlegung und dem Einbauort der Elemente abhängt.

Für die Wärmedurchgangszahl gelten bei Ölbehältern und die Leitungen zu einer zu hohen Betriebstemperatur, so ist in der Anlage ein zusätzlicher Kühler erforderlich. Diese können nach den Kühlleistungsdiagrammen der Hersteller ausgewählt werden. (Bauer, 2009) Seite 71

Behälter mit bewegter Luft	$k \approx 11 - 15\ W/m^2K$
Behälter in Luft mit $v \approx 2m/s$	$k \approx 23\ W/m^2K$
Behälter in Luft mit $v > 5m/s$	$k \approx 7{,}5 * v^{0,75}\ W/m^2K$

Tabelle 7: Wärmedurchgangszahlen bei Ölbehältern (Bauer, 2009)Seite 71

$$\Delta\vartheta = \frac{P_{th} * (1\text{-}\,\eta_{ges})}{15 * A_{benetzt}}$$

Formel 36: Wärmeabgabe Ölbehälter

$$P_K = P_V - k * A * \Delta\vartheta$$

Formel 37: Kühlleistung Ölkühler

Anlagen, Teil 2

Definition Asynchronmotor

„Das Wicklungssystem des Asynchronmotors ist im Ständer angeordnet. Eine Energieübertragung über mechanische Kontakte auf den rotierenden Läufer, wie sie beim Gleichstrommotor erforderlich ist, benötigt der Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer nicht. Er ist damit praktisch wartungsfrei.“ (Weidauer, 2011) Seite 66

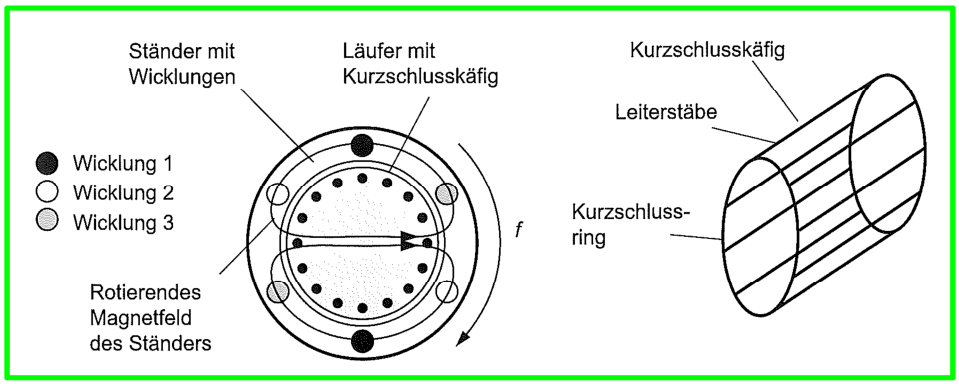


Abbildung 59: Bestandteile Asynchronmotors mit Kurzschlussläufer (Weidauer, 2011) Seite 67

Die Drehzahl ergibt sich anhand der Polpaaren und der Frequenz.

$$n_d = \frac{60 * f}{p}$$

Formel 38: Synchrondrehzahl

Für die Berechnung von Antrieben ist es wichtig den sogenannte Schlupf eines Motors bei der Berechnung mit einzubeziehen, da sich durch den Schlupf die Drehzahl immer gegenüber der Synchrondrehzahl verringert.

.

Der Schlupf s wird durch das Verhältnis der Ständerdrehzahl n_d zur Läuferdrehzahl n definiert.

Wäre der Schlupf = 0 würde der Läufer kein Moment mehr entwickeln, da das magnetische Drehfeld des Ständers nichts mehr in der Läuferwicklung induzieren kann.

$$s = \frac{n_d - n}{n_d}$$

Formel 39: Schlupf Asynchronmotor (Weidauer, 2011) Seite 73

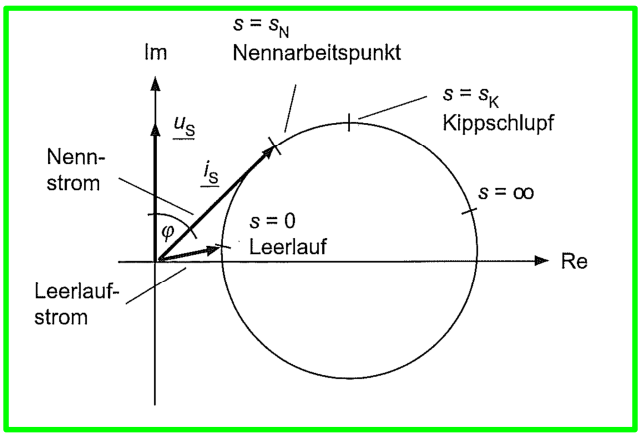


Abbildung 60: Betriebsverhalten Asynchronmotor im Zeigerdiagramm (Weidauer, 2011) Seite 74

Definition Sanftanlasser

„Der Sanftanlasser steuert die Ständerspannung U_s kontinuierlich von einem wählbaren Anfangswert bis zur vollen Netzspannung. Dadurch erhöhen sich das Drehmoment und der Ständerstrom I_s ebenfalls kontinuierlich. Der Sanftanlasser ermöglicht also ein stufenloses Anfahren von Motoren aus dem Stillstand.

Die Verstellung der Ständerspannung erfolgt durch Phasenanschnittssteuerung mit antiparallelen Thyristoren (Abb. 61). die Thyristoren werden so gesteuert, dass sie nur Teile der Netzspannungshalbwelle zum Motor weiterleiten und so den Effektivwert der Ständerspannung U_s absenken. Das Maß der Absenkung wird durch den Zündwinkel α bestimmt. Für $\alpha = 180°$ gilt $U_s = 0$ und für $\alpha = 0°$ gilt $U_s = U_{Netz}$

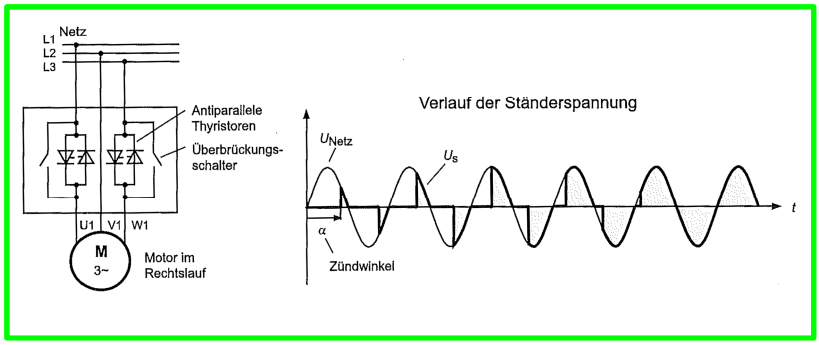


Abbildung 61: Sanftanlasser

Es gibt zwei Arten die Ständerspannung bei Sanftanlassern zu erhöhen, über die Spannungsrampe (Einsatz FVM) oder über die Stromsteuerung.

Beim Sanftanlauf mit Spannungsrampe fängt der Strom bei einem Startwert an, steigt dann bis zu einem Maximum und fällt beim Erreichen der Bemessungsdrehzahl des Motors auf I_N zurück. Der maximale Strom kann nicht im Voraus bestimmt werden. Er wird sich je nach Motor und Belastung einstellen“ ((Weidauer, 2011) Seite 84-85).

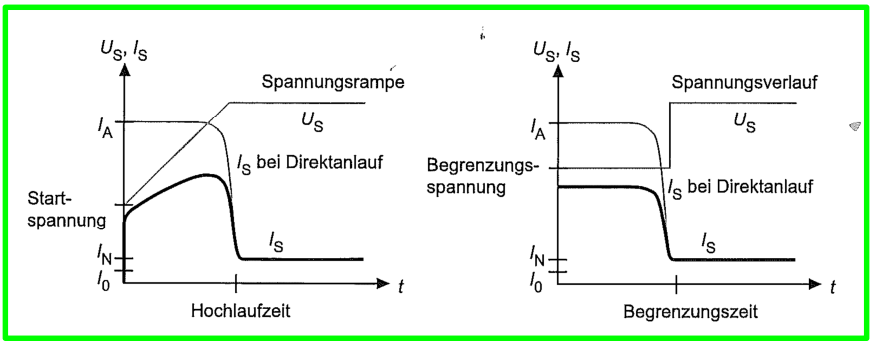


Abbildung 62: Strom- und Drehzahl des Asynchronmotors bei Sanftanlauf

Durch die Anwendung eines Sanftanlassers stehen folgende Vorteile zur Verfügung, welche sich für den Betrieb von hydraulischen Getrieben sehr vorteilhaft sind.

- Anlaufstrom wird reduziert oder begrenzt, Versorgungsnetz erfährt dadurch keine Spannungseinbrüche
- Das angeforderte Drehmoment wird entsprechend der Last angepasst und schont damit alle mechanische Bauteile der Arbeitsmaschine
- Kontinuierliche Drehzahlerhöhung
- Verlust von Spannungen an einer Phase, welche bei der Stromversorgung speziell im Baubereich häufig sind, werden erkannt und der Motor wird bei einem zulange andauernden Phasenausfall abgeschaltet.

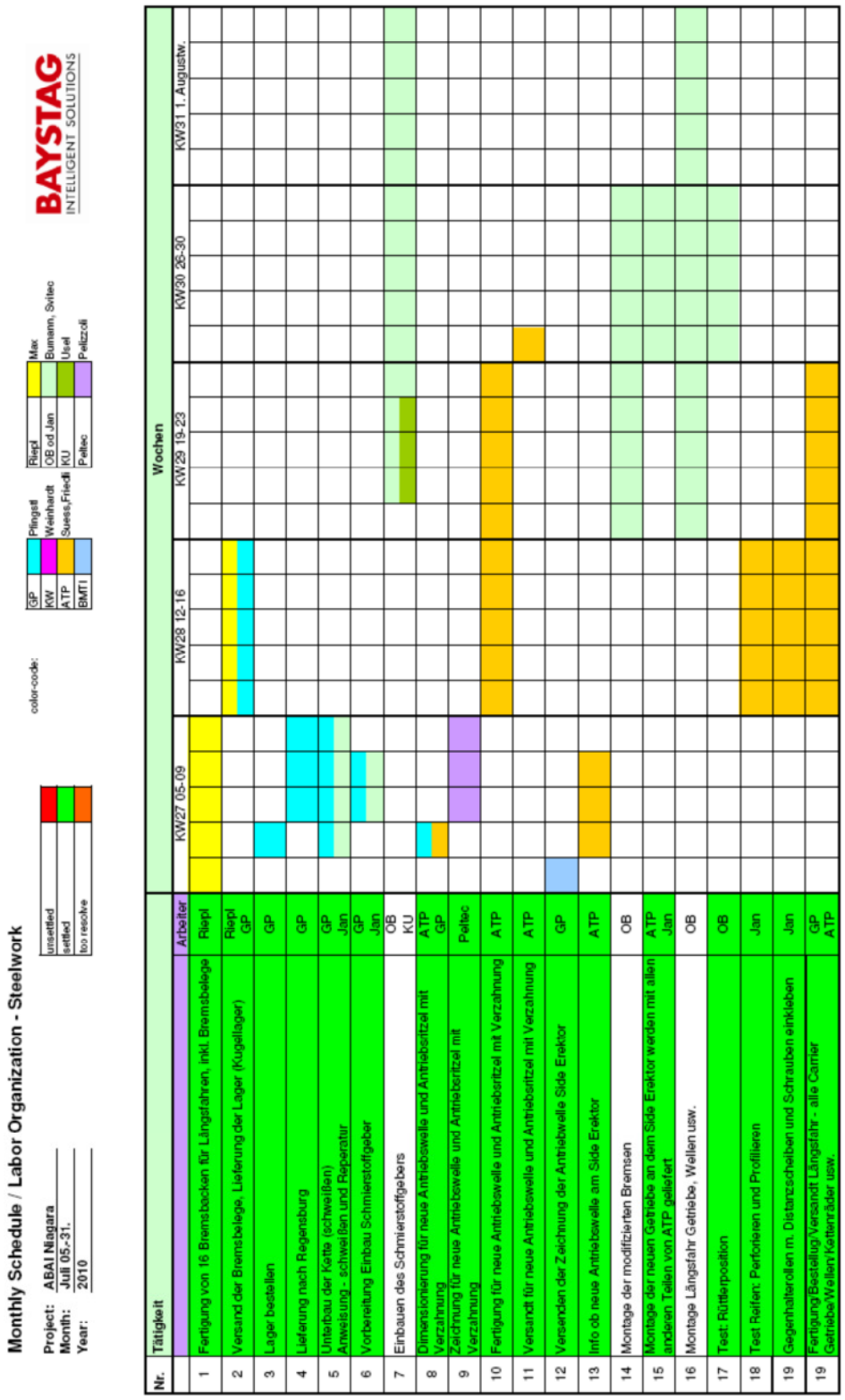
Anlagen, Teil 3

Definition Binär und Graycode

Während bei einer binären Codierung die einzelnen Bits 2^n ändern, wird beim *„Graycode“* immer 1 abgezogen $(2^n - 1)$. Werden wie z.B. bei einem Drehgeber Messdaten über mehrere Leitungen gelichzeitig gesendet und empfangen, so geschieht dies in der Theorie immer gleichzeitig. Die Realität zeigt aber, dass es z.B. durch Asymmetrien oder Bauteilstreuungen zu Ungleichheiten der Bitübertragung kommen kann. Dies führt dann zu Fehlern in der Datenübertragen und Auswertung. Durch die Subtraktion ändert sich das Bit zum folgenden immer um 1, somit kann der Code auf Fehler ständig ausgelesen werden und ungewollte Datenzustände können bei der Datenübertragung erst gar nicht entstehen. Durch den Einsatz von „Graycode“ lässt sich aufgrund der „sauberen“ Datenübertragung ein wesentlich zuverlässigerer Messwert auswerten.

Anlagen, Teil 4

Seite 1 offene Punkte Mechanik



Monatsplanung / Arbeitseinteilung - Elektrik/Elektronik

Projekt: ABAI Niagara
Monat Juli - Aug
Jahr: 2010

NE = nicht erledigt
ER = Erledigt

Farbcode:
GP
KW
ATP
BMTI

Riepl
OB od Jan
Kurt
Peltec

BAYSTAG
INTELLIGENT SOLUTIONS

| Nr. | Tätigkeit | Arbeiter | Wochen im Juli | | |

Monatsplanung / Anwesenheit auf der Baustelle

Projekt: ABAI Niagara
Monat: Juli - August
Jahr: 2010

Farbcode:

AW - anwesend
AB - Abwesend
AA - Auf Abruf

BAYSTAG
INTELLIGENT SOLUTIONS

WER	Info	Juli					August				
		KW 27 05-09	KW 28 12-16	KW 29 19-23	KW 30 26-30	KW 31 1. Augustw.	KW 31 02-06	KW 32 09-13	KW 33 3 16-20	KW 34 4 23-27	KW 35 5 30-03 Sept
Hr. Otto BUMANN											
Hr. Guido PFINGST											
Hr. Klaus WEINHARDT											
Hr. Kurt USEL											
ATP Hr. H. SÜESS											
ATP Hr. S. SÜESS											
Hr. Jan Svitec											

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Niagara Falls, den 10.07.2012

Klaus Weinhardt